



Àwọn eku engineering jogún resistance Lyme, wọn sì dá fífún tick ní àkóràn dúró — proof of concept yàrá, kì í se ìtúsílẹ̀ igbó

Àwọn olùṣẹ̀wádíí fí gene antibody anti-Lyme sínú eku ilé, tí wọn sì jogún rẹ̀ fún ọ̀pọ̀ iran; nígbà tí tick tó ní àkóràn já wọn, kòdà eku èdà kan kọ̀ àkóràn, wọn sì fẹ̀rẹ̀ dá fífún bacterium sí tick tuntun dúró. Ó jẹ̀ proof of principle fún “heritable immunization” ti reservoir species — tí a ẹ̀e nínú eku ilé yàrá, kì í ẹ̀e eku ẹ̀sẹ̀-funfun igbó tó n tan Lyme gidi, láìsí itúsilẹ̀ pápá, nígbà tí ecology, regulation àti ethics sì sì sílẹ̀. Kì í ẹ̀e gene drive, kì í sì ẹ̀e “a ti yanjú Lyme.”

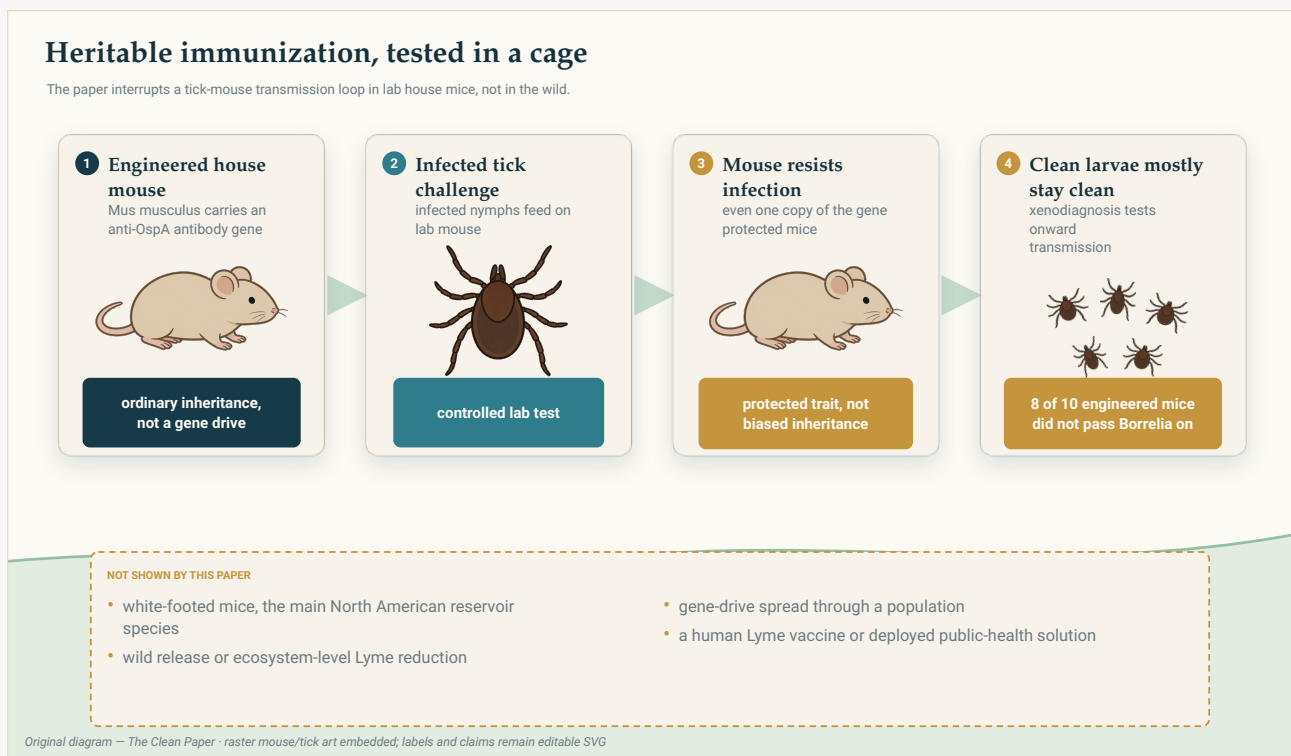
Paper: *Heritable immunization of mice against Lyme disease enables ecological disease prevention*, Joanna Buchthal et al.; Kevin M. Esvelt (corresponding author), Nature Communications (2026, accepted manuscript / article in press — not the final copyedited version) · DOI: [10.1038/s41467-026-71757-6](https://doi.org/10.1038/s41467-026-71757-6)

Bíba ìyípo kan jẹ dípò títójú aláìsàn kan

Àrùn Lyme ni àrùn tí tick ní gbé tó wọpọ jù lọ ní United States, ọ̀nà tí a sì sáàbà fi ní bá a jà jẹ tí ẹ̀nì kòòkan: ẹ̀yẹ̀wò ara fún tick, fà wọ̀n kúrò, lo antibiotic bí ibi tí ó ti jáni bá di àlẹ́ébù tó dà bí ojú akọ málúù. Ẹ̀yẹ̀wò bacterium tó ní fa Lyme, *Borrelia burgdorferi*, kò gbé inú wa ní tòótó. Ọ̀nà tí kò já sí ibi kankan ni àwà jẹ fún un. Ilé gidì rẹ̀ jẹ ìyípo tó ní ló láàárín tick àti àwọn ẹ̀ranko ọ̀mú kékeré inú igbó — ní etíkun ilà-òòrùn US, ní pàtàkì eku ẹ̀sẹ̀-funfun. Tick kan máa ní gba bacterium nípa jíjẹ eku tó ní àkóràn, ó máa ní gbé e bí ó ẹ̀ ní dàgbà, ó sì máa ní fi fún eku tó kàn — tàbí, nípasẹ̀ àṣìṣe, fún ẹ̀niyàn. Eku ni ibi ipamọ̀; tick ni abẹ̀rẹ̀; àwà jẹ ẹ̀ni tó dúró lẹ́gbẹ̀ẹ̀ tí abẹ̀rẹ̀ máa ní gún lẹ́kòòkan.

Nítorí nàà, ọ̀nà mǐràn wà láti ronú nípa ọ̀sọ̀ro nàà. Dípò títójú ẹ̀niyàn lẹ́kòòkan lẹ́yìn jíjẹ tick, kí ló máa ẹ̀lẹ̀ bí a bá lè mú kí eku ní àjẹsára — kí wọ̀n sì ní i láti ìran dé ìran, láifún ẹ̀ranko kòòkan ní vaccine pẹ̀lú ọ̀wọ̀? Èrò tí iwé yíi dán wò nìyẹn, ó sì ní agbára àìdára kan tó ní fà á lọ sí àkólé nípa “eku GMO,” “jínì drive,” àti “fífún ẹ̀ranko inú igbó ní vaccine.” Ohun tí iwé nàà sọ ní tòótó tòóró sí i, ó sọra sí i, àti — bí o bá bìkítà nípa bí a ẹ̀ gbọ̀dọ̀ fi ẹ̀rì mú irú ìgbésẹ̀ bẹ̀ẹ̀ kí ẹ̀nikẹ̀ni tó tú ohunkóhun síta — ó ní fúnni ní itùnù ju àwọn àkólé nàà lọ.

Èrò nàà ní orúkọ: *heritable immunization* — kíkọ̀ itónìsọ̀nà fún antibody tààrà sínú genome ẹ̀ranko, kí a bí ẹ̀ranko nàà nígbà tí ó ti ní ẹ̀, kí ó sì fi agbára nàà fún àwọn ọ̀mọ̀ rẹ̀. A ní láti fún ẹ̀ni kòòkan ní vaccine, léráléra. Gene tí a lè jogún lè kojá nípasẹ̀ ìbísí lasán — láìsí ẹ̀nikẹ̀ni tó máa fún ìran tuntun kòòkan ní vaccine pẹ̀lú ọ̀wọ̀.



Ìdánwò nàà dá ìyípo transmission yàrá kan dúró: eku ilé tí a ẹ̀ engineering rẹ̀ kọ̀ àkóràn, ọ̀pọ̀ wọ̀n kò sì fi *Borrelia* fún tick larval mímọ̀. Kò dán itúsílẹ̀ sínú igbó, jínì drive, tàbí idínkù Lyme ká gbogbo ecosystem wò.

Ohun tí àwọn ònkòwé ẹ

Wọn bèrè pèlú antibody ààbò kan tí a mọ. *Borrelia* ní ojú prótínì kan tí a n pè ní OspA, antibody tó dojú kọ OspA sì ní oḡbón tó wúlò: ní ilàà àtíjọ, tick tó jẹ eku tí ó ní àjẹsára máa n gbe antibody náà m̀ pèlú èjẹ, ó sì lè ṣiṣẹ́ lórí bacterium *nínú tick*, kí a tó fi wọn fún ẹranko m̀ràn. Ní ọ̀rọ̀ m̀, ibi tí a fẹ́ dojú kọ ní ifífúnni láàárín tick àti eku — kì í ẹ eku nìkan lẹyìn tí ó ti ní àkóràn.

Àwọn ònkòwé mú ọkan nínú antibody bèrè (tí a n pè ní LA-2), wọn sì ẹ engineering eku ilé — *Mus musculus* yàrá lasán — láti ẹ é láti inú DNA tiwọn. Mímú èyí ṣiṣẹ́ gba ìgbìyànjú mélòó kan; àwòrán àkókó tí ó n ẹ antibody nínú ẹdò nìkan ẹ é ní iye tí kò tó láti dáàbò bo eku. Èdà tó ṣiṣẹ́ tún antibody náà ẹ sí fòùmù single-chain kékeré, tó dúró ṣinṣin, ó so ó mọ prótínì èjẹ kan (albumin) kí ó lè pẹ, ó sì fi í sí ibi “láléwu harbour” kan tí a mọ dáadáa nínú genome, kí ó lè máa ẹ é ní gbogbo ìgbà, ní gbogbo ìran.

Lẹyìn náà, wọn dán ohun m̀ta wò lẹsẹsẹ: bóyá a máa n *jogún* antibody náà ní ìgbékẹlẹ; bóyá àwọn eku tí a ẹ engineering rẹ *kọ àkóràn* nígbà tí tick tó ru *Borrelia* já wọn; àti — apá tó ẹ pàtàkì fún àrùn náà lápapọ — bóyá tick mímọ́ tó jẹ lára àwọn eku yẹn dúró ní mímọ́, tàbí ó gba bacterium náà. Ìdánwò tó kẹyìn yẹn, jíjẹ kí tick larval tí kò ní àkóràn jẹ, kí a sì ṣàyèwò wọn lẹyìn náà, ní ọ̀nà láti bèèrè bóyá a ti dá *iyípo transmission* fúnra rẹ dúró.

Ohun tí wọn rí

Wọn jogún antibody náà ní ìdúróṣinṣin fún ọ̀pọ̀ ìran. Àwòrán tó ṣiṣẹ́ ẹ ǹkan bí ilọpọ egbèrún antibody ju èyí tó kùnà lọ, ní ìpele tó dúró ṣinṣin kojá ó kéré tán ìran m̀fà — eku tó ní èdà jínì méjì ẹ ǹkan bí ilọpọ méjì ti eku tó ní èdà kan. Kò sí iyàtọ láti ẹranko kan sí ọ̀míràn tó ti ba ìgbìyànjú àkókó jẹ.

Àwọn eku kọ àkóràn — kódà pèlú èdà jínì kan soṣo. Nígbà tí tick tó ní *Borrelia* já wọn, àwọn eku tó ní èdà méjì àti èdà kan fi ìdínkù tó ní statistical significance hàn nínú àwọn àmì àkóràn ní ifiwéra pèlú eku lasán. Àwọn eku èdà méjì ní ààbò tó lágbára, ṣùgbón ààbò nínú eku èdà kan (heterozygous) ní èsì tó ní àbájáde tó jìnnà jù, fún ìdí kan tí a ó padà sí.

Wọn fẹrẹ́ dá fífún bacterium síwájú dúró. Nínú ìdánwò ecology pàtàkì, wọn jẹ kí tick larval mímọ́ jẹ lára àwọn eku tí a ẹ engineering rẹ tí wọn ti mọ́mọ́ fún ní challenge pèlú ọ̀pọ̀ tick tó ní àkóràn. Nínú ìdánwò yẹn, 8 nínú eku 10 tí a ẹ engineering rẹ jáde lárín àkóràn rárá, wọn kò sì gbin bacterium sínú ìran tick tó tẹlẹ́, ní ifiwéra pèlú 1 nínú eku lasán 10 — iyàtọ́ tó ní significance gíga. A n dá iyípo náà dúró nínú cage. (Èyí jẹ èsì controlled challenge, kì í ẹ ọ̀ṣùwọn iye tí Lyme yóò dín kù nínú igbó gidì.)

Ìyàlẹnu olóótítọ kan nípa ọ̀nà iṣẹ́. Ní iyàtọ́ sí iṣẹ́ anti-OspA àtíjọ, antibody tí a ẹ engineering rẹ dáàbò bo eku ṣùgbón kò dà bí ẹni pé ó pa bacterium rẹ nínú àwọn tick tó ti jẹ. Nítorí náà, antibody náà n dí transmission lówọ́ nípasẹ ọ̀nà kan tí àwọn ònkòwé kò lè dá mọ́ pátápátá — binding dà bí ohun tó tó, ṣùgbón ọ̀nà gangan ní a fi sílẹ́ fún iwádìí sí i.

Ohun tí èyí ẹ́ẹ́ ẹ́ ẹ́ kí ó túmò sí

Èrò àkólé nàà — pé a lè kò resistance tó pé sínú genome ẹranko reservoir, kí a sì já iyípo transmission àrùn — dúró nínú yàrá, nínú eku yí.

Àlàyé kékeré kan sì ní dín ẹ̀dà itàn tó ní bani lẹ̀rù jù lọ kù. *Gene drive* jẹ genetic ètò tí a ẹ́ engineering rẹ láti yí inheritance sí ẹgbẹ kan, kí jínì tí a yàn lè tàn nínú population yára ju ìbísí lasán lọ — kódà bí kò bá fún ẹranko ní ànfààní kankan. Èyí ni ohun tó mú drive lágbára, tó sì mú un nira láti ẹ̀kóso tàbí pè padà léyìn ítúsílẹ̀. Iṣẹ́ yí kò lo irú nhkan bẹ̀. Nítorí pé ẹ̀dà antibody jínì kan soṣo ti dààbò bo eku, àwọn ònkòwé jiyàn pé ìbísí lasán àti ítúsílẹ̀ tó dojú kọ ibi pàtó lè, ní principle, gbé e dé ipele tó wúlò láifipá mú un kojá population — wọn sì sọ ní kedere pé èyí kì í ẹ́ jínì drive. Àrìyànjiyàn ni, kì í ẹ́ ifihàn; ẹ̀gbọn ẹ̀sì ẹ̀dà kan nàà ni ohun tó jẹ́ kí wọn lè jiyàn bẹ̀, ó sì mú ọ̀nà nàà rọ̀rùn púpọ̀ láti ẹ̀kóso ju ohun tí ọ̀pọ̀ ẹ̀nìyàn ní rò lọ.

Kí ló dé tí a kò fi lo gene drive?

Gene drive kì í ẹ́ ohun kan nàà pẹ̀lú dominant jínì. *Dominant* jẹ nípa ipa — ẹ̀dà kan tó láti fi trait hàn, gégé bí antibody jínì ẹ́ rí nínù-ín. *Drive* jẹ nípa inheritance: ó ní ẹ́ àyípadà odds kí a lè fi jínì fún púpọ̀ jù ìdajì àwọn ọ̀mọ ẹranko lọ. Ẹ̀dà engineering àtijọ́, CRISPR “homing” drive, ru scissors molíkúlù tó ní gé ibi tó bá a mu lórí chromosome kejì; ẹ̀ẹ̀lì nàà ní tún ibi tí a gé ẹ́ nípa dídà drive kojá, kí ẹranko tó ní ẹ̀dà kan lè fi í fún fẹ́rẹ́ gbogbo ọ̀mọ rẹ̀. Bí a bá tú irú drive bẹ̀ sínú igbó, ó lè gba gbogbo population láti ìbẹ̀rẹ́ kékeré — ó lágbára, ó sì nira gan-an láti pè padà. (Nature ti dá ọ̀nà mǐràn láti tan ọ̀fin àádọ́ta-àádọ́ta jẹ, ẹ̀gbọn principle nàà jẹ kan nàà.)

Kí ló dé tí èyí fi ẹ́ pàtàkì nínù-ín? Nítorí pé ònkòwé àgbà iwé nàà, Kevin Esvelt, jẹ ọ̀kan lára àwọn olùṣewádí tó ẹ́ irànlọ́wọ̀ láti dá jínì drive sílẹ̀ — pẹ̀lú àwọn ẹ̀dà “daisy-chain” tó ní ààbò sí i, tó sì ní dá ara rẹ̀ dúró, tí a ẹ́ láti *má tàn láisí ẹ̀kóso*. Ó mọ́ irinṣẹ́ nàà dáadàa, nínú iṣẹ́ yí ó sì mòdómò kò láti lò ó: ààbò nàà wà lórí jínì lasán tí a lè jogún, tí a máa tàn — bí ó bá ẹ̀lẹ́ lée — nípasẹ̀ ìbísí lasán àti ítúsílẹ̀ ibi pàtó, kì í ẹ́ drive. Ẹ̀kọ́ dákẹ́jẹ̀ nìyẹn, tó níyelórí ju ẹ̀sì nàà lọ: níní irinṣẹ́ tó lágbára kì í ẹ́ àṣẹ láti lò ó ní gbogbo ibi.

Ohun tí èyí kò fi hàn

- Ó wà nínú **eku tí kò tọ, pẹ̀lú imọ́dómọ**. A ẹ́ iṣẹ́ nàà nínú eku ilé yàrá (*Mus musculus*), kì í ẹ́ eku ẹ̀sẹ̀-funfun (*Peromyscus leucopus*) tó ní pa Lyme mọ́ ká etíkun ilà-òòrùn US. Àwọn ònkòwé ti bèrẹ́ sí i dá irinṣẹ́ sílẹ̀ fún *Peromyscus*, ẹ̀gbọn a **kò** tii kọ́ jínì ààbò nàà sínú species tó ẹ́ pàtàkì.
- Ó wà nínú **yàrá**, kì í ẹ́ pápá. Kò sí eku tí a ẹ́ engineering rẹ́ tí a tú síta. Àwọn iye tí ẹranko lè san nínú survival tàbí ìbísí, tí kò fara hàn nínú cage, lè fara hàn nínú igbó.
- Ó jẹ́ **proof of concept**, kì í ẹ́ ojútúú. Ààbò nàà lágbára ẹ̀gbọn kò pé (eku 8 nínú 10 ló dí transmission lówọ́ nínú challenge), “a pa Lyme rẹ́” kò sì sí níbí kífí nínú iwé nàà.
- A **kò lóye ọ̀nà iṣẹ́ nàà pátápátá** — antibody ẹ́ṣẹ́, ẹ̀gbọn kì í ẹ́ nípasẹ̀ ọ̀nà tí iwádí àtijọ́ retí.
- **Kì í ẹ́ jínì drive**, kò sì sọ pé ọ̀nà ni.
- Ítúsílẹ̀ ẹranko ọ̀mú tí a ẹ́ engineering rẹ́ sínú igbó kò ní **àpẹ̀rẹ́ regulatory kankan**. Íṣíró ewu ecology, governance, àti ifowọ́sì àwọn àwùjọ́ tí yóó gbé pẹ̀lú rẹ́ kò tii yanjú rárá — àwọn ònkòwé sọ bẹ̀ ní gbangba.

Báwo ni èrí nàà ẹ̀ fẹ̀sẹ̀ múlẹ̀ tó?

Pín in sí méjì, nítorí apá méjèèjì kò fẹ̀sẹ̀ múlẹ̀ bákan nàà.

- **Èsì yàrá nàà fẹ̀sẹ̀ múlẹ̀.** Antibody tó dúró ẹ̀sẹ̀n, tí a lè jogún kọ́já ìran méfà; ààbò lòdì sí àkóràn tó ní statistical significance; ìdínkù transmission síwájú tó ní statistical significance, tí a wọ̀n ní ọ̀nà tó nira, nípa jíjẹ kí tick mímọ̀ jẹ. Ọ̀pọ̀ ìdánwò òmìnira tó sí ọ̀nà kan nàà.
- **Fífo láti ibẹ̀ sí ayé gidì kò tū́ fídí múlẹ̀ rárá.** Species mǐràn, survival nínú igbó, ecology tó díjù pèlú ọ̀pọ̀ reservoir host, release strategy, àti regulation gbogbo rẹ̀ — kò sí èyíkẹ́yí tó jẹ́ dátà nínú ìwé yí, àwọ̀n ọ̀nàkọ̀wé sì fi hàn gégé bí ẹ̀sẹ̀ tó sì wà níwájú, nígbà tí ètò field ìdánwò tí àwùjọ̀ nì darí ẹ̀sẹ̀ bẹ̀rẹ̀ gan-an.

Àkíyèsí ìtọ́jú ilé kan ní èmí kan nàà: a ka èyí láti inú *accepted manuscript* tí a ẹ̀ peer review rẹ̀ (“article in press”), kì í ẹ̀ ẹ̀dà ìkẹ́yìn tí a ti copyedit. Àwọ̀n èsì ẹ̀sẹ̀tò lókè kò yẹ kí ó yí padà, ẹ̀gbọ̀n a ó tún àwọ̀n nọ́nbà nàà wò pèlú ìwé ìkẹ́yìn kí èyí tó lọ síwájú.

Ìdí tí ó fi ẹ̀ pàtàkì

Ọ̀pọ̀ ọ̀nà tí a fi nì bá àrùn tí vector nì gbé jà jẹ́ ìdáhùn tí kò ní ọ̀pín: sokiri, lé e kúrò, ẹ̀yẹ̀wò, tọ́jú, tún ẹ̀, gbogbo àsikò ọ̀dún, títi láé. Èyí jẹ́ àwòrán ohun tó yàtò — ẹ̀ igbésẹ̀ lẹ̀ẹ̀kan nínú animal reservoir, kí inheritance sì ẹ̀ ẹ̀sẹ̀ ìtọ́jú. Bí a bá ẹ̀ é nínú eku ẹ̀sẹ̀-funfun, tí a sì fi hàn pé ó ní ààbò, ó sì munadoko nínú pàpá, ó lè, ní principle, dín ìpele abẹ̀lẹ̀ Lyme nínú ibi kan kù dípò kíkàn dáàbò bo ẹ̀ni kòòkan nínú rẹ̀.

“Ní principle” yẹn nì ru ẹ̀rù púpọ̀, ìwé nàà sì jẹ́ olóòtítọ̀ nípa rẹ̀. Ohun tó níyelórí gidì nínú-ín kì í ẹ̀ ìwòsàn; ó jẹ́ ìfihàn tó sọ́ra pé heritable immunization lè ẹ̀sẹ̀, ó sì lè dá transmission dúró — tí a mọ̀mọ̀ kọ̀ ní fọ̀mù tí a lè ẹ̀sẹ̀kóso, tí kì í ẹ̀ jínì drive, pèlú àwọ̀n ibéèrè tó nira jù (species tó tọ̀, pàpá gbangba, ethics ìtúsílẹ̀ ìyè tí a ẹ̀ engineering rẹ̀) tí a dárúko, tí a sì fi sílẹ̀ láìyanjú dípò fífowọ̀ pa wọ̀n rẹ̀.

Àkótán mímọ̀

Àrùn Lyme nì yípo láàárín tick àti eku reservoir; ènìyàn kan kó wọ̀ inú rẹ̀ lẹ̀ẹ̀kòòkan. Àwọ̀n olùsẹ̀wádíí ẹ̀ engineering eku ilé yàrá láti pèsè, láti inú genome tiwọ̀n, antibody lòdì sí ojú prótínì OspA ti *Borrelia* — antibody tó nì dá bacterium dúró nínú tick tó nì jẹ́. Àwọ̀n eku nàà jogún agbára yí nì ìdúróẹ̀sẹ̀n fún ó kéré tán ìran méfà; nígbà tí tick tó ní àkóràn já wọ̀n, wọ̀n kọ̀ àkóràn, kódà pèlú ẹ̀dà jínì kan soṣo, ọ̀pọ̀ wọ̀n (8 nínú 10, ní ifiwéra pèlú 1 nínú eku lasán 10) sì dá fífún bacterium sí tick tuntun dúró, tí ó já ìyípo transmission yàrá. Ohun tó ẹ̀ pàtàkì nì pé ààbò ẹ̀dà kan tùmọ̀ sí pé ọ̀nà nàà kò nílò jínì drive tó nì tan ara rẹ̀. Ẹ̀gbọ̀n a ẹ̀ èyí nínú eku ilé yàrá, kì í ẹ̀ eku ẹ̀sẹ̀-funfun tó nì tan Lyme ní North America; kò sí ìtúsílẹ̀ pàpá; a kò lóye ọ̀nà ẹ̀sẹ̀ nàà pátápátá; ecology, regulation àti ethics ìtúsílẹ̀ ẹ̀ranko ọ̀mú tí a ẹ̀ engineering rẹ̀ kò tū́ yanjú rárá. Ó jẹ́ proof of concept tó sọ́ra fún “heritable immunization” ti reservoir species — kì í ẹ̀ jínì drive, kì í sì ẹ̀ “a ti yanjú Lyme.”

Àyèwò láìsí ọ̀rọ̀ asán

Ohun tí iwé nàà fi hàn: Eku ilé yàrá (*Mus musculus*) tí a ẹ̀ engineering rẹ̀ láti express antibody anti-OspA (LA-2, gégé bí single-chain-albumin fusion láti safe-harbour locus) jogún rẹ̀ ní ìdúróṣinṣin fún ≥ 6 ọ̀rọ̀, kọ̀ àkóràn *Borrelia* nígbà tick challenge (ó ní significance kódà nínú heterozygote ẹ̀dà kan), wọ̀n sì fẹ́rẹ́ dá fífún bacterium sí tick mímọ̀ dúró (eku engineering 8 nínú 10 tí a fún ní challenge kò fi transmission hàn ní ifiwéra pẹ̀lú control 1 nínú 10; ó ní significance). Ààbò ẹ̀dà kan tùmọ̀ sí pé jínì drive kò ẹ̀ dandan kí ọ̀nà nàà lè ẹ̀ṣẹ́.

Ohun tó ẹ̀é gbà ùgbọ̀n tí a kò fídí rẹ̀ múlẹ̀: Mechanism gangan tí antibody fi ní dí transmission lẹ́wọ̀ (kò pa bacterium rẹ̀ nínú tick tó ti ní àkóràn, ní iyàtò sí ẹ̀ṣẹ́ anti-OspA àtíjọ̀); pé construct kan nàà yóò ẹ̀ṣẹ́, a ó sì jogún rẹ̀ ní ìdúróṣinṣin nínú eku ẹ̀ṣẹ́-funfun.

Ohun tí kò fi hàn: Ohunkóhun nínú igbó tàbí nínú reservoir species gidi; ipa lórí gbogbo population tàbí ecosystem; pé a lè pa Lyme rẹ̀; pé itúsílẹ̀ ẹ̀ranko omú engineering ní ààbò, munadoko, tàbí pé a lè gba á láàyè; jínì drive (òdíkẹ̀jì ní — wọ̀n sọ ní kedere pé kì í ẹ̀ ẹ̀ṣẹ́).

Àwọn ààlà pàtàkì: A ẹ̀ é nínú *Mus musculus* yàrá, kì í ẹ̀ *Peromyscus leucopus* igbó; yàrá nìkan, kò sí itúsílẹ̀ pápá; ìdíwọ̀ transmission lágbára ùgbọ̀n kò pé (8 nínú 10); ọ̀nà ẹ̀ṣẹ́ kò ẹ̀ kedere; àwọn ibéèrè ecology, regulatory àti ethics nípa itúsílẹ̀ kò tì yanjú; a ka accepted manuscript nígbà tí a ní dúró de ẹ̀dà ikẹ̀yìn.

Ìgbẹ̀kẹ̀lé mélòó ni olùkà gbogboogbo yẹ kí ó ní? Ìgbẹ̀kẹ̀lé gígá pé, nínú yàrá, àwọn eku engineering jogún resistance Lyme, wọ̀n sì já transmission yà, àti pé èyí mọ̀mọ̀ **kì í ẹ̀** jínì drive. Ìgbẹ̀kẹ̀lé gígá pé èyí **kì í ẹ̀** ojútùú tí a ti fi sílò, **kì í sì ẹ̀** “a ti yanjú Lyme.” Ìgbẹ̀kẹ̀lé kékeré lórí bóyá àti bí ó ẹ̀ lè ẹ̀ṣẹ́ nínú igbó, èyí tó jẹ́ gbogbo apá kejì tí kò tì parí. Ìdúró tó yẹ: proof of concept tó sọra, tó ní ìrètí, nípa yíyí reservoir padà dípò aláìsàn — pẹ̀lú àwọn ibéèrè tó nira jù tí ó sì wà níwájú, tí a sì dárúkọ̀ ní òtítọ̀.

Àwọn orísun

Nature Communications (2026), open access CC BY 4.0

<https://doi.org/10.1038/s41467-026-71757-6>

Associated dataset (Mendeley Data)

<https://doi.org/10.17632/wh65sf47bs.3>