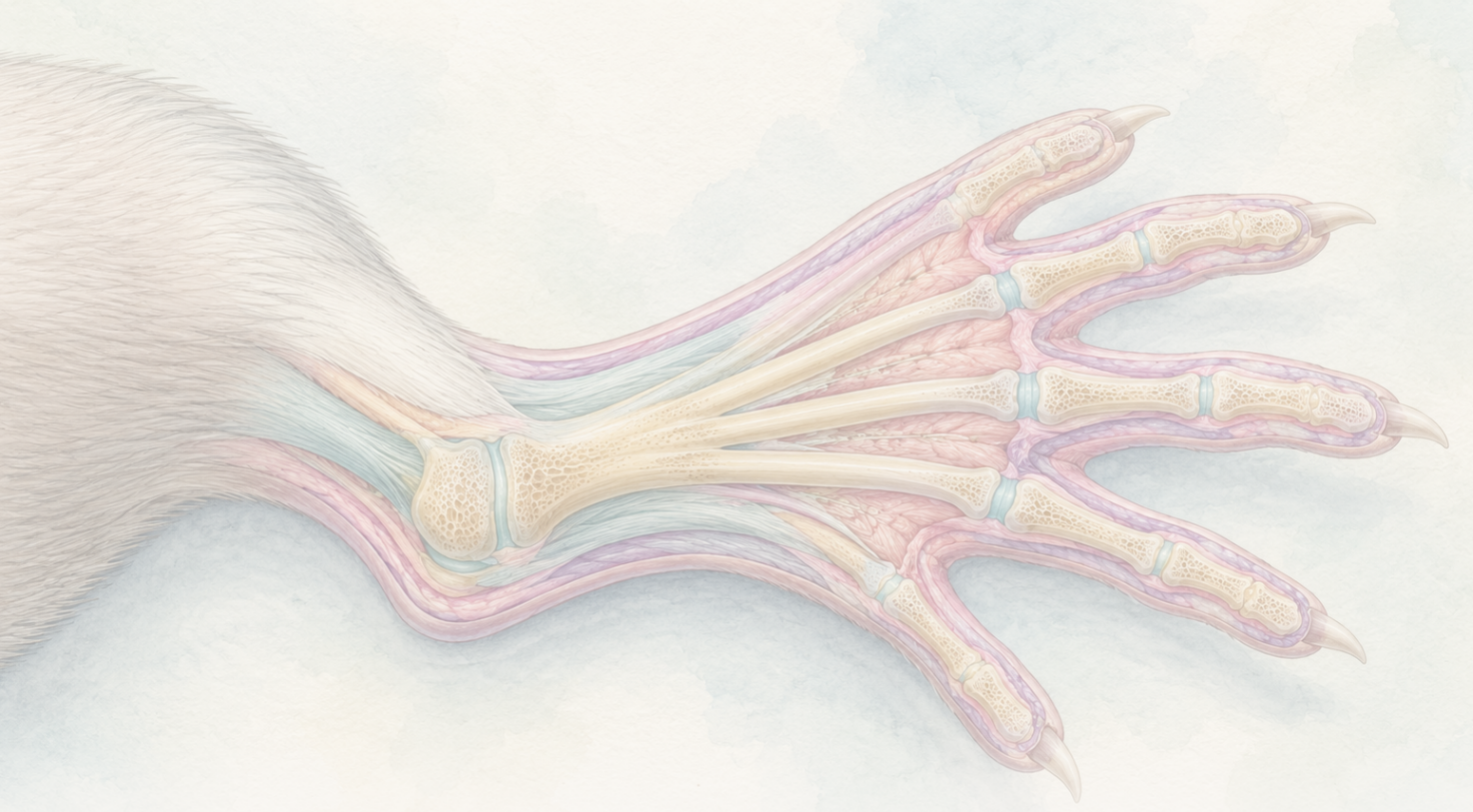




The CLEAN PAPER

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

অ্যারস্টিটলরে পুরোনো প্রশ্ন, এবার হাঁদুরে আঙুলে

Newborn mouse-এর P2 digit amputation সাধারণত scar দিয়ে heal হয়। FGF2 bead এবং পাঁচ দিন পরে BMP2 bead দিলে FGF2 blastema-like cell mass তৈরি করে, BMP2 differentiation চালায়, এবং lost phalanx growth plate-সহ regrow করে; অনেকে ক্ষতেরে small joint, tendon, ligament ও sesamoid-like bone-ও ফরি আসে। Structure original-এর মতো কিন্তু identical নয়। Lineage tracing দেখায় ordinary wound cell reprogrammed ও re-specified হয়েছে। Takeaway: এই model-এ regeneration failure missing cell নয়, missing signal-এর problem। এটি mouse proof of principle — human therapy বা limb regrowth নয়।

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: *Digit regeneration in mice is stimulated by sequential treatment with FGF2 and BMP2*, Ling Yu et al.; Ken Muneoka (corresponding author), Nature Communications 17, 5346 (2026) · DOI: 10.1038/s41467-026-72066-8

Aristotle-এর পুরোনো প্রশ্ন, একটি ইঁদুরের পায়ের আঙুলে

সালামান্ডার অঙ্গচ্ছেদের পর পুরো অঙ্গ—হাড়, পেশী, স্নায়ু, ত্বক—আবার গজাতে পারে, কিন্তু ইঁদুর বা মানুষ অবশিষ্ট অংশ সরে উঠে দাগ বানিয়ে থেমে যায় কেন? গবেষণাপত্র মনে করিয়ে দেয় প্রশ্নটি Aristotle পর্যন্ত ফিরে যায়। পুনরুজ্জন্মকক্ষ প্রাণী ক্ষতে ছোট, অবশিষ্টোয়তি কেষ ভর **ব্লাস্টোমা** বানায়; সেখান থেকে অনুপস্থিতি কাঠামো পুনর্গঠন করা হয়। স্তন্যপায়ী সাধারণত ব্লাস্টোমা তৈরি করে না—ক্ষত দাগ দিয়ে বন্ধ হয়।

তাই “ইঁদুরে অঙ্গগুলি পুনরুজ্জন্ম” সহজেই “মানুষ শগিগরিই আঙুল বা অঙ্গ আবার গজাতে পারবে” ধরনের শরিয়োনামে বদলে যায়। গবেষণাপত্রটি অনেক সংকীর্ণ—এবং সেই কারণেই বেশি আকর্ষণীয়। **নবজাতক ইঁদুরে** এমন অঙ্গগুলি কর্তন, যা সাধারণত দাগ তৈরি করে থেমে যায়, সেখান থেকে দুই বৃদ্ধিকারক সঠিক ক্রমে—প্রথমে **FGF2**, পরে **BMP2**—দিয়ে অবশিষ্ট অংশ হারানো হাড় আবার তৈরি করেছে। পুরো অঙ্গ নতুন, মানুষ নয়, নথিত পুনর্গঠন-ও নয়। কিন্তু যে স্তন্যপায়ীর ক্ষত সাধারণত ফাইব্রোসিসে থেমে যেতে, তাকে পুনরুজ্জন্মের দিকে ঠেলে দেওয়া হয়েছে।

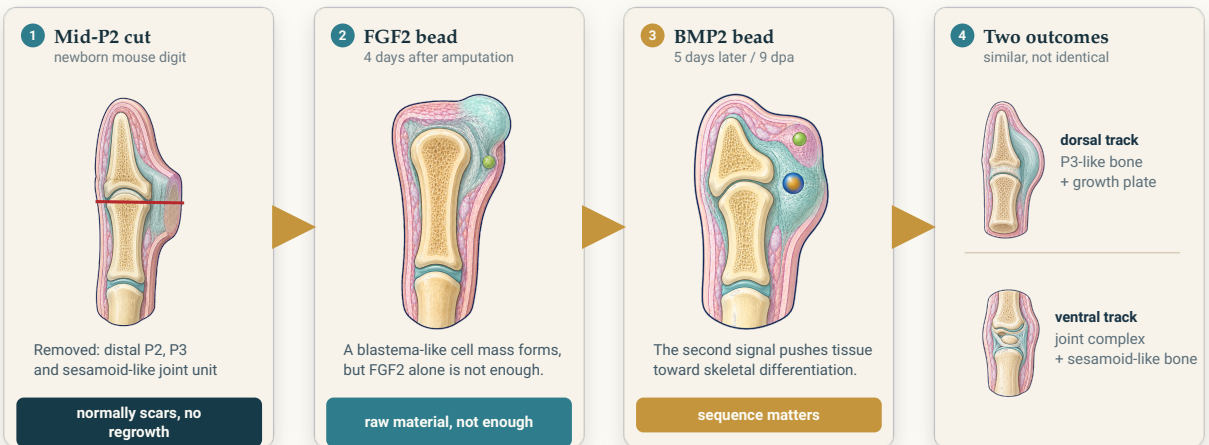
গবেষকরা কী করছেন

ইঁদুর অঙ্গগুলি স্তন্যপায়ীর অল্প কয়েকটি জায়গার একটি যেখানে ডগা-স্তর অঙ্গচ্ছেদে স্বাভাবিকভাবেই পুনরুৎপাদন করতে পারে। খুব ডগা কাটা হলে ফিরে আসে; কিন্তু নচি **P2 ফ্যালানক্স**-এর মধ্য দিয়ে কাটলে সাধারণত পুনরুজ্জন্ম হয় না—দাগ টিস্যু অবশিষ্ট অংশ বন্ধ করে। লেখকরা নবজাতক ইঁদুরে ইচ্ছাকৃতভাবে এই **পুনরুজ্জন্মহীন P2 অঙ্গচ্ছেদে** মডলে ব্যবহার করছেন।

ক্ষত বন্ধ হওয়ার কয়েক দিন পরে একটি কিসুদ্র দানা দিয়ে **FGF2** প্রকাশ করা হয়। **পাঁচ দিন পরে** দ্বিতীয় দানা দিয়ে **BMP2**। এরপর সপ্তাহ ধরে micro-CT, টিস্যু রঞ্জন, একক-কেষ স্কিইয়েন্সিং এবং জনিগত বংশধারা অনুসরণ দিয়ে দেখা হয় টিস্যু কীভাবে বদলায় এবং কোন কেষ কেষ খায় যায়।

Two signals, two tracks

FGF2 raises blastema-like tissue; BMP2 pushes regeneration, imperfectly



dpa = days post amputation · P3-like and sesamoid-like structures are similar to the originals, not exact copies
Raster anatomy is illustrative; the editable SVG layer carries the claims, timing and boundaries.

দুই সংকতে, দুই অনুসরণ করা: FGF2 ব্লাস্টোমা-সদৃশ টিস্যু তৈরি করে; পরে BMP2 পুনরুজ্জন্ম এগিয়ে দেয়। পুনর্গঠিত অঙ্গগুলি মূলরে মতো, কিন্তু অভিন্ন নয়।

তারা কী পয়েছেন

FGF2 একা কাঁচা উপাদান তৈরিকরে, ফল খুব কম। কষতে বভিজনশীল কোষ ভর তৈরি হয় যা ব্লাস্টোমোর মতো। এবং ব্লাস্টোমো-সংশ্লিষ্ট জিন বদল করে। কিন্তু FGF2-শুধু চকিৎসায় প্রায় **70% অঙ্গুলনিতুন হাড় বানায়নি**, আর প্রায় **30%** একটি একক ভুল-স্থানে হাড় বানিয়েছে।

FGF2-এর পরে BMP2 দলি পুনরুজ্জন্ম অনেক দূর এগিয়ে—তবু অসম্পূর্ণ থাকে। ধারাবাহিক চকিৎসায় চকিৎসাপ্রাপ্ত সব অঙ্গুলতিই নতুন হাড় তৈরি হয়। অধিকাংশ কষত্রে হারানো দূরবর্তী ফ্যালাঞ্জ (P3) চনো যায় এমন হাড় হিসেবে আবার গজায়, এবং ভিত্তিতে বকিাগত **বৃদ্ধি-প্লটে**-ও থাকে। অনেকে কষত্রে ছোট সন্ধিগঠনও তৈরি হয়: সোসোময়ডে-সদৃশ হাড়, টেন্ডন ও লগিমনেন্ট অবশিষ্ট অংশে সঙ্গে আবার যুক্ত হয়। সতর্ক আকৃতিমিতিকি তুলনায় পুনরুজ্জন্ম হওয়া অংশ মূলটির **সদৃশ, অভিনি নয়**; অবশিষ্ট হাড় বড় হলেও স্বাভাবিক আকৃতি পুরো ফরেনো। লখেকরো তাই ফলটিকি কার্যত “সম্পূর্ণ কাঠামো, কিন্তু অসম্পূর্ণ পুনরুগঠন” হিসেবে বর্ণনা করনে—কাটা অংশগুলোর সমতুল্য ফরি এসছে, কিন্তু হুবহু অনুলপি নয়।

কষত্রে কোষগুলো সত্যি পুনঃপ্রোগ্রামিতি হয়। একক-কোষ সক্রিয়নেসি দেখায়, FGF2 এক দিনে মধ্য ফাইব্রোব্লাস্টের অবস্থা বদলে দেয় এবং ভ্রূণীয় বা বকিাগত অবস্থার সঙ্গে যুক্ত *Hmga1* ও *Hmga2* জিন সক্রিয় করে। জনিগত বংশরখো অনুসরণ দেখায়, অবশিষ্ট অংশে সাধারণ কোষ নতুন পরিচয় নিয়ে তাদের মূল অবস্থানে আরও দূরে কাঠামো তৈরিতে অবদান রেখেছে—আবার গজানো ফ্যালাঞ্জ এবং নতুন সন্ধি সাইনে ভয়াল ও সংযোজক টিস্যুতে। সোসোময়ডে-সদৃশ ছোট হাড়গুলো প্রধানত অন্য কোষ-উৎস থেকে এসছে।

এর সম্ভাব্য অর্থ

লখেকরো দুটরিক্ষণশীল পাঠ দনে।

প্রথম: এখানে স্তন্যপায়ী পুনরুজ্জন্ম ব্যর্থ হওয়ার কারণ **সক্শম কোষ অনুপস্থিতি নয়**। কষতে সক্শম কোষ আছে; অনুপস্থিতি হলে উপযুক্ত **সংকতে**। ডান করমে FGF এবং BMP সংকতেপ্রেরণ দলি সাধারণত ফাইব্রোব্লাস্টিকি কষত পুনরুজ্জন্মমূলক ফলাফল দিতে পারে। “যথেষ্ট” শব্দটি এই নিরদিষ্ট ইঁদুর কষত মডেলে জন্ম।

দ্বিতীয়: পররোচিতি পুনরুজ্জন্ম দুই পথে চলে—একটি **ব্লাস্টোমো-নিরভরশীল** পথ, যা ভ্রূণীয় বকিাগ পুনরায় চালনা করে ফ্যালানক্স পুনরুগঠন করে (বৃদ্ধিপাতসহ); আর একটি **ব্লাস্টোমো-স্বাধীন** পথ, যা যথেষ্ট জটিল পুনরুগঠন করে। একসঙ্গে তারা প্রায় অঙ্গচ্ছদে-করা কাঠামো প্রতিস্থাপন করতে পারে।

এটিকী প্রমাণ করে না

- **মানব তথ্য নই**—নবজাতক ইঁদুর অঙ্গুলি।
- **প্রানত পুনরুজ্জন্ম নয়**। এক আঙুল-সমতুল্যরে দূরবর্তী ছোট bones/যথেষ্ট পথে মডেলে।
- **নিখিত নয়**। হাড় আকৃতি/আকার সুনিরদিষ্ট নয়; FGF2 একা অধিকাংশ কষত্রে ব্যর্থ হয়।
- **দুই সময়-নির্ধারিত বৃদ্ধিকারক দানা**—একটি ওষুধ, সিরাম, ক্রিমি বা একক চকিৎসা নয়। ক্রম ও সময়বিন্যাস গুরুত্বপূর্ণ ছিল: FGF2 প্রথম, BMP2 পাঁচ দিন পরে।
- **প্রাপ্তবয়স্ক/বড় স্তন্যপায়ীতে কাজ করে বা নিরীপদ**—এটি দেখানো হয়নি।

প্রমাণ কতটা শক্তিশালী?

নজিস্ব পরধিরি মধ্যে মূল ফল কঠনি। FGF2→BMP2 দলরে প্রতটি অঙ্গুলি নতুন হাড় তৈরি করছে যখনে নয়িন্তরণ করনে; **micro-CT**, **হিস্টিং লজি**, **আকৃতিমিতি**, **একক-কোষ সক্রিয়নেসি**, **বংশধারা অনুসরণ**—পাঁচ স্বাধীন প্রমাণ স্তর একই দিক দিয়ে।

সতর্ক সীমা যথার্থতা নয়, **পরধি**। প্রতিক্রিয়া চলক/অসম্পূর্ণ; নবজাতক ইঁদুর; “যথেষ্ট” এই ক্ষত মডেলে জন্ম, মানুষ বা প্রান্তরে জন্ম নয়। গবেষণাপত্র দেখায় স্তন্যপায়ী পুনরুজ্জন্মমূলক ব্যর্থতা নরিদ্যিট প্রকোষপটে সংকতেপ্ররেণ দিয়ে অতিক্রম করা যায়; মানব আঙুল/প্রান্ত পুনরুদ্ধি পথ দেখায় না।

কনে এটি গুরুত্বপূর্ণ

পুরোনো প্রশ্ন হলি: স্তন্যপায়ী প্রাণী কি পুনরুজ্জন্মের জন্ম প্রয়োগে হারিয়েছে, নাকি কোষ আছে কনিতু সঠিকভাবে সক্রিয় হয় না? এই কাজটি নরিদ্যিটভাবে দ্বিতীয় সম্ভাবনাকে সমর্থন করে। সক্ষম কোষ ক্ষতে উপস্থিতি থাকে; সঠিক সংকতে দলি তারা আবার বকিাশগত কর্মসূচি দিকি ফরিতে পারে। ধারণাটি আশাব্যঞ্জনক, কনিতু পথ দীর্ঘ। “নবজাতক ইঁদুরের অঙ্গুলিতে যথেষ্ট” থেকে মানুষের দৃশ্যমান চকিিসা অনেকে দূরে। মূল্যটি **ধারণার প্রমাণ**, প্রতশির্বুতনিয়।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

নবজাতক ইঁদুরের P2 স্তরে অঙ্গুলি কটে দলি সাধারণত ক্ষত দাগ হয়ে যায় এবং আর বাড়েনা। ক্ষত বন্ধ হওয়ার পরে FGF2 বডি, পাঁচ দিন পরে BMP2 বডি দলি FGF2 ব্লাস্টো-সদৃশ বিভাজনশীল কোষ ভর তৈরি করে এবং BMP2 কোষ পার্থক্যায়ন ও পুনরুদ্ধি চালায়। হারানো দূরবর্তী ফ্যালাঞ্জ বৃদ্ধি প্লটেসহ ফরিতে আসে; অনেকে অঙ্গুলিতে ছোট সন্ধি, টেন্ডন, লিগামেন্ট ও সোসোময়ডে-সদৃশ হাড় তৈরি হয়। কার্ঠামে টি মূলে কাছাকাছি, কনিতু অভিনি নয়। বংশরখো অনুসরণ দেখায়, সাধারণ ক্ষত কোষ নতুন পরিচি় নিয়ে দূরবর্তী গঠন তৈরিতে অংশ নতিে পারে। ফলটি ইঙ্গতি করে, এই মডেলে পুনরুজ্জন্ম ব্যর্থতার কারণ সক্ষম কোষের অনুপস্থিতি নয়; বরং সঠিক সংকতেরে অভাব—**ইঁদুরে ধারণার প্রমাণ, মানুষের অঙ্গ-চকিিসা নয়**।

বাড়াবাড়ি ছাড়া যাচাই

গবেষণাপত্র যা দেখায়: নবজাতক ইঁদুর P2 অঙ্গচ্ছদে কর্মকি FGF2→BMP2 দূরবর্তী হাড় ও যৈ থ-জটলি পুনরুজ্জন্ম উদ্দীপতি করত পারে; একাধিক প্রমাণ পদ্ধতি সমর্থন করে।

যা সম্ভাব্য কনিতু প্রমাণতি নয়: ভিন্ন মাত্রা/সময়বনিসাসে FGF2-শুধু আরও সম্পূর্ণ হতে পারে; পুনরায় নরিদ্যিট কোষ সুনরিদ্যিট বকিাশগত কর্মসূচিকতটা পুনরাবৃত্তি করে।

যা দেখায় না: মানব/প্রাপ্তবয়স্ক/বড়-স্তন্যপায়ী ফল; পুরো আঙুল/প্রান্ত পুনরুদ্ধি; একক-ধাপ ওষুধ; নরিাপত্তা; নস্থিত অঙ্গসংস্থান।

মূল সীমাবদ্ধতা: নবজাতক ইঁদুর, ছোট অঙ্গুলি মডেলে, অসম্পূর্ণ/চলক ফলাফল, কনে প্রয়োগমুখী নরিাপত্তা তথ্য।

আস্থা: ইঁদুর মডেলে ফলে উচ্চ; মানব অনুবাদে কম-মাঝারি।

উৎস

Nature Communications 17, 5346 (2026), open access
<https://doi.org/10.1038/s41467-026-72066-8>