The Clean Paper

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

মডেলটি প্রায় সব ক্রমবর্ধমান aging process সরিয়ে দিয়েছিল। চিন্তা-পরীক্ষা শেষে পর্যন্ত somatic mutation-এ এসে ঠেকল

মডেলটি বলে না যে মানুষ 194 বছর বাঁচতে পারে। এটি পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি-কে বয়স 30-এর স্তরে স্থির রাখে, প্রায় সব অন্য progressive aging প্রক্রিয়া বাদ দেয় এবং চারটি modeled টিস্যু-তে mutation-চালিত কোষ loss কখন ব্যর্থতা ঘটায় তা জিজ্ঞেস করে। বড় সংখ্যাগুলো শর্তসাপেক্ষ মডেল ফল; অর্জনযোগ্য বয়স বা চিকিৎসার পূর্বাভাস নয়।

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

Paper: *Somatic mutations impose an entropic upper bound on human lifespan*, Evgeniy Efimov, Vlad Fedotov, Leonid Malaev, Ekaterina E. Khrameeva & Dmitrii Kriukov, npj Aging (2026), article in press · DOI: 10.1038/s41514-026-00421-6

একটি মডেলে প্রায় সব ধীরে-ধীরে বাড়তে থাকা বার্ধক্যপ্রক্রিয়া সরিয়ে দিল। তবু দেহকোষীয় মিউটেশন চিন্তা-পরীক্ষাটির শেষে টানল

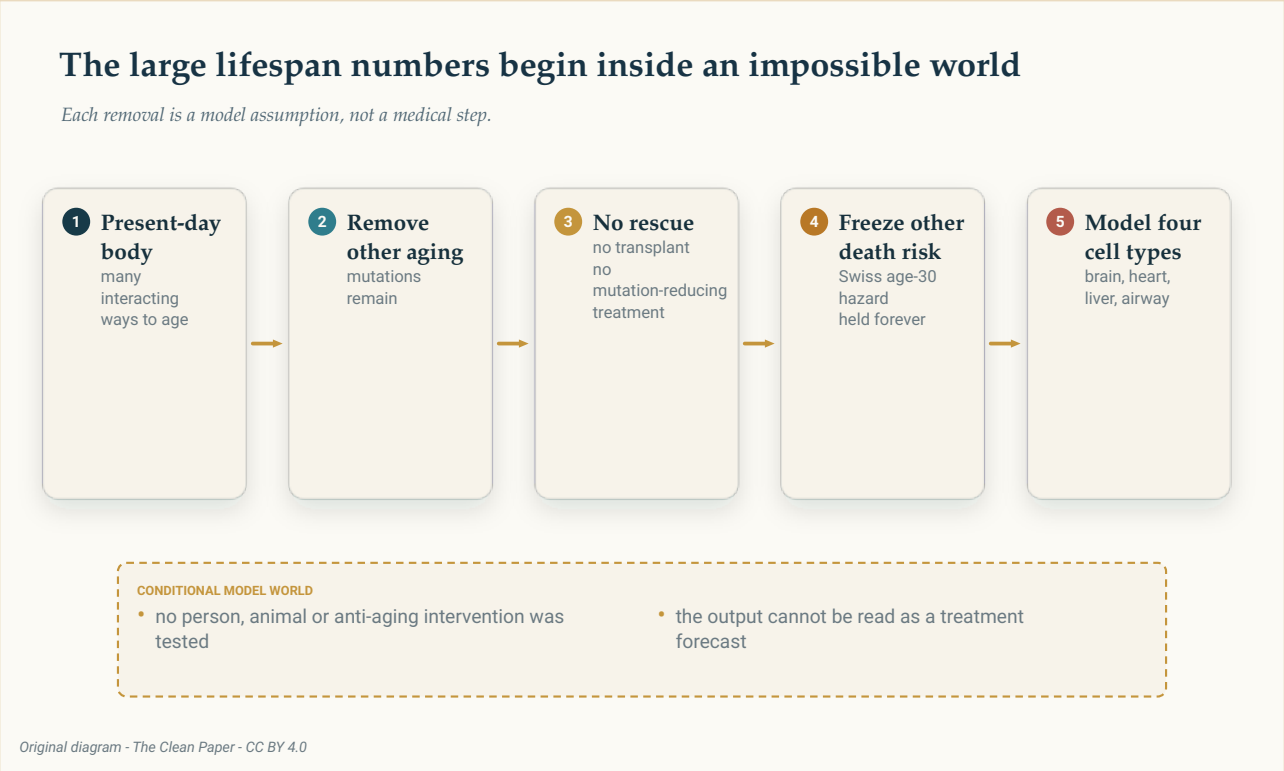
ভাবুন এমন একটি মানবদেহ, যেখানে বার্ধক্যের প্রায় সব পরিচিত ধীরে-ধীরে বাড়তে থাকা প্রক্রিয়া বন্ধ। রক্তনালি ক্রমশ নষ্ট হয় না। প্রোটিনের গুণমান ধীরে ধীরে কমে না। প্রদাহ, ক্যানসার এবং বয়স-সম্পর্কিত অন্যান্য ব্যর্থতা বয়সের সঙ্গে বাড়ে না। কোনো অঙ্গ প্রতিস্থাপন করা হয় না, এবং কোনো চিকিৎসা কোষের ভেতরে DNA পরিবর্তন জমার গতি কমায় না।

তাহলে পরের সীমা কোথায় আসবে?

নতুন একটি কম্পিউটার মডেলিংভিত্তিক গবেষণা গাণিতিক জনসংখ্যার বেঁচে থাকা বক্ররেখার সঙ্গে চার ধরনের টিস্যুতে মিউটেশন-চালিত কোষক্ষয়ের কম্পিউটার সিমুলেশন মিলিয়েছে। এর একটি শর্তসাপেক্ষ উত্তর হলো: ক্ষতিকর **দেহকোষীয় মিউটেশন**-এর পর ধীরে ধীরে কোষ হারানো শেষে পর্যন্ত সীমাবদ্ধকারী কারণ হতে পারে, বিশেষ করে মস্তিষ্ক ও হৃদ্‌যন্ত্রে। দেহকোষীয় মিউটেশন হলো জীবদ্দশায় শরীরের কোনো একটি কোষে অর্জিত DNA পরিবর্তন। এটি ডিম্বাণু বা শুক্রাণুর মাধ্যমে উত্তরাধিকারসূত্রে যায় না, এবং এমন অধিকাংশ পরিবর্তন কোষকে মারে না বা রোগ সৃষ্টি করে না।

গবেষণাটির সবচেয়ে উদ্ধৃতযোগ্য ফল হলো **146 থেকে 194 বছর** মডেল-নির্ণীত মধ্যম আয়ু—চার ধরনের টিস্যুর ব্যর্থতা একে অন্যের ওপর কতটা নির্ভরশীল ধরা হচ্ছে তার ওপর পরিসরটি বদলায়। কিন্তু আজ মানুষ কত দিন বাঁচতে পারে, এটি তার অনুমান নয়। কোনো চিকিৎসার পূর্বাভাসও নয়। কোনো মানুষ, প্রাণী বা বার্ধক্যরোধী হস্তক্ষেপে পরীক্ষা করা হয়নি।

এই সংখ্যাগুলো ইচ্ছাকৃতভাবে অসম্ভব এক মডেল-জগতের। সেই জগতটি বোঝাই গবেষণার আসল বিষয়।



মিউটেশন-চালিত কোষক্ষয় কী করবে তা জিজ্ঞেস করার আগে মডেলটি প্রায় সব ধীরে-ধীরে বাড়তে থাকা বার্ধক্যপ্রক্রিয়া সরিয়ে দেয়। এটি শর্তসাপেক্ষ একটি মডেল-জগত, চিকিৎসার পরিকল্পনা নয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

প্রথমে এমন একটি জনসংখ্যা বানানো হলো, যেখানে বার্ধক্য প্রায় নেই

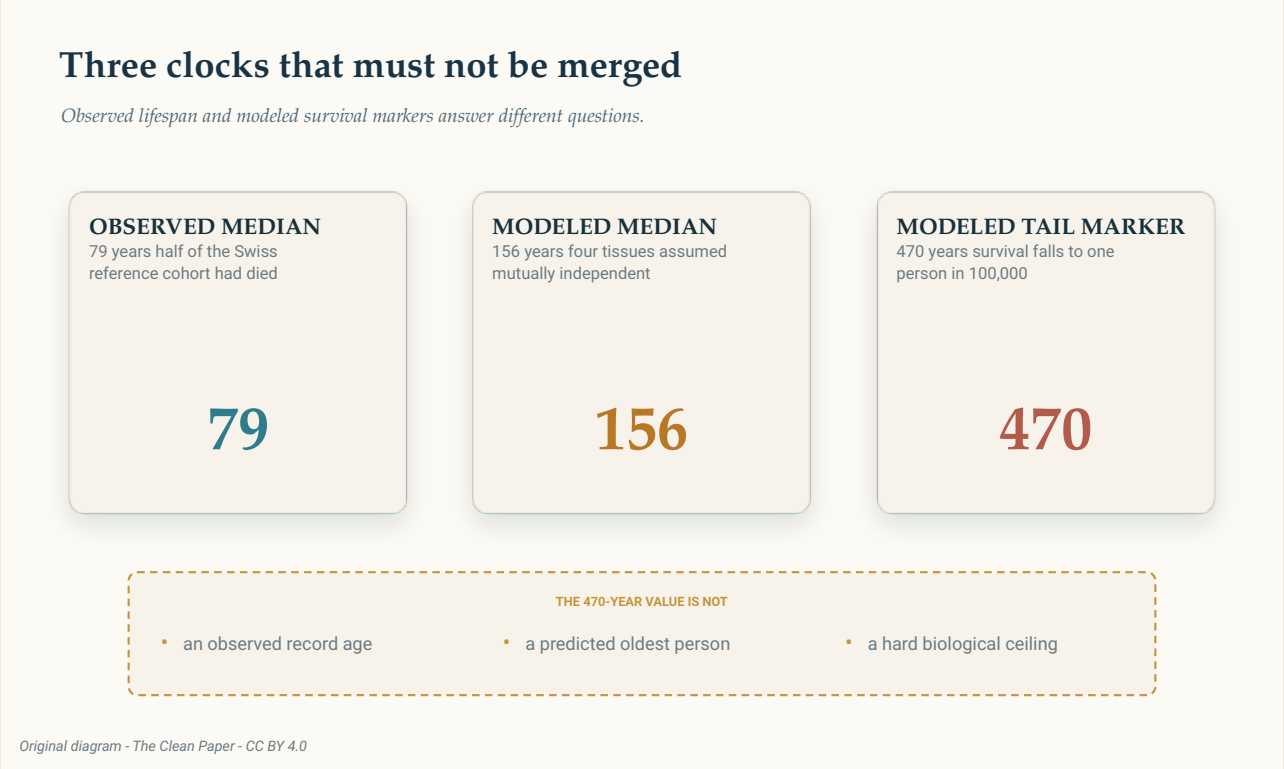
লেখকেরা সুইজারল্যান্ডের মৃত্যুর তথ্য দিয়ে শুরু করেন। 30 বছর বয়সের কাছাকাছি যে বার্ষিক মৃত্যুঝুঁকি দেখা যায়, সেটিকে স্থির করে অনির্দিষ্টকাল একই রাখা হয়। বাস্তবে বয়স বাড়লে মৃত্যুঝুঁকি দ্রুত বাড়ে। এই প্রাথমিক অবস্থায় তা হয় না।

তবুও এই সরলীকৃত জনসংখ্যায় **পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি** থাকে: মডেল করা মিউটেশন-প্রক্রিয়ার বাইরে সব ধরনের মৃত্যুর ঝুঁকি। কিন্তু সেই ঝুঁকি কখনো না বাড়ায় হিসাব অত্যন্ত দীর্ঘ সময়ে গিয়ে পৌঁছায়। মডেল-নির্ণীত অবশিষ্ট মধ্যম আয়ু হয় **1,759 বছর**। শুরুতে থাকা প্রতি 100,000 জনের মধ্যে মাত্র একজন জীবিত থাকার পর্যায় আসে **29,221 বছরে**।

কোনো সংখ্যাই জৈবিক দাবি নয়। কম প্রাপ্তবয়স্ক-মৃত্যুঝুঁকি অনির্দিষ্ট ভবিষ্যৎ পর্যন্ত প্রক্ষেপণ করলে কী ঘটে, তা দেখানোর জন্য এগুলো।

গবেষণাপত্রে কয়েকটি আলাদা "ঘড়ি" ব্যবহার করা হয়েছে, যেগুলো এক করা যাবে না:

- সুইস রেফারেন্স জনসংখ্যায় **পর্যবেক্ষিত মধ্যমা** ছিল 79 বছর।
- গবেষণাপত্রে ব্যবহৃত পর্যবেক্ষিত মানব দীর্ঘায়ু নথি ছিল 122 বছর।
- **মডেল-নির্ণীত মধ্যমা** হলো সেই সময়, যখন সিমুলেটেড জনসংখ্যার অর্ধেক মারা গেছে।
- গবেষণাপত্রের মডেলে ব্যবহৃত **"সর্বোচ্চ" সূচক** সম্ভাব্য সবচেয়ে বৃদ্ধ মানুষ নয়। এটি সেই সময়, যখন বেঁচে থাকা 0.001%-এ নেমে আসে—অর্থাৎ শুরু করা প্রতি 100,000 জনে একজন জীবিত থাকে।



পর্যবেক্ষিত আয়ু, মডেল-নির্ণীত মধ্যমা এবং মডেলে পাওয়া প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকা চিহ্ন আলাদা প্রশ্নের উত্তর দেয়। 470 বছরের চিহ্ন কোনো পূর্বাভাসকৃত নথি বয়স বা কঠোর জৈবিক সর্বোচ্চ সীমা নয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

> **100,000 জনে একজন বেঁচে থাকাকে “সর্বোচ্চ” বলা হচ্ছে কেন?**
>
> মসৃণ বেঁচে থাকা বক্ররেখাসহ সিমুলেশন কখনো ঠিক শূন্যে নাও পৌঁছাতে পারে। তাই লেখকেরা 0.001% জীবিত থাকার মতো খুব ছোট একটি ভগ্নাংশকে কার্যগত শেষবিন্দু হিসেবে বেছে নিয়েছেন। এতে ভিন্ন মডেল চালনা একইভাবে তুলনা করা যায়। এর মানে জীববিজ্ঞানে ওই বয়সে কোনো কঠোর জৈবিক সীমা আছে—এমন নয়, এবং এটি সম্ভাব্য সবচেয়ে বৃদ্ধ ব্যক্তিকেও শনাক্ত করে না।

যেসব কোষ সহজে প্রতিস্থাপিত হয় না, সেগুলো আগে সীমাবদ্ধকারী কারণ হয়

এরপর মডেলে মিউটেশন-চালিত কোষক্ষয় যোগ করা হয়। কোনো মিউটেশনকে তখনই প্রাণঘাতী ধরা হয়, যখন তা যথেষ্ট অপরিহার্য জিনগত উপাদান ক্ষতিগ্রস্ত করে কোষকে কার্যহীন করে। এমন ঘটনার সম্ভাবনা অনিশ্চিত; প্রতিটি কোষের জন্য সরাসরি মাপা নয়, মডেল করা।

প্রথমে লেখকেরা **বিভাজন-বন্ধ কোষ**-এর দুটি জনসংখ্যা বিবেচনা করেন—পরিণত কোষ, যেগুলো স্বাভাবিকভাবে বিভাজন করে নিয়মিত প্রতিস্থাপিত হয় না। উদাহরণ ছিল কর্টিকাল নিউরন এবং কার্ডিওমায়োসাইট, অর্থাৎ হৃদ্‌পেশির সংকোচন ঘটানো কোষ।

স্থির পটভূমির ঝুঁকির সঙ্গে নিউরন ক্ষয় যোগ করলে জনসংখ্যার মধ্যমা হয় **194 বছর**, আর প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকার চিহ্ন **557 বছর**। কার্ডিওমায়োসাইট ক্ষয়ের ক্ষেত্রে মানগুলো ছিল **208 বছর** ও **868 বছর**। পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি যোগ করার আগের শুধু অঙ্গের মধ্যমা ব্যর্থতার সময় ছিল আনুমানিক 198 ও 212 বছর।

এগুলো দেখায় না যে বাস্তব মস্তিষ্ক বা হৃদ্‌যন্ত্রে এমন কোনো উল্টো গণনার ঘড়ি আছে। বরং এই মডেলের ভেতরে, অন্য প্রায় সব ক্রমবর্ধমান সমস্যা সরিয়ে দিলে, যেসব কোষ জনসংখ্যা নিয়মিত প্রতিস্থাপিত হয় না সেগুলো হারানো স্থির পটভূমির ঝুঁকির তুলনায় অনেক আগেই গুরুত্বপূর্ণ হয়ে ওঠে।

কোষ প্রতিস্থাপিত হতে পারলে হিসাব বদলে যায়

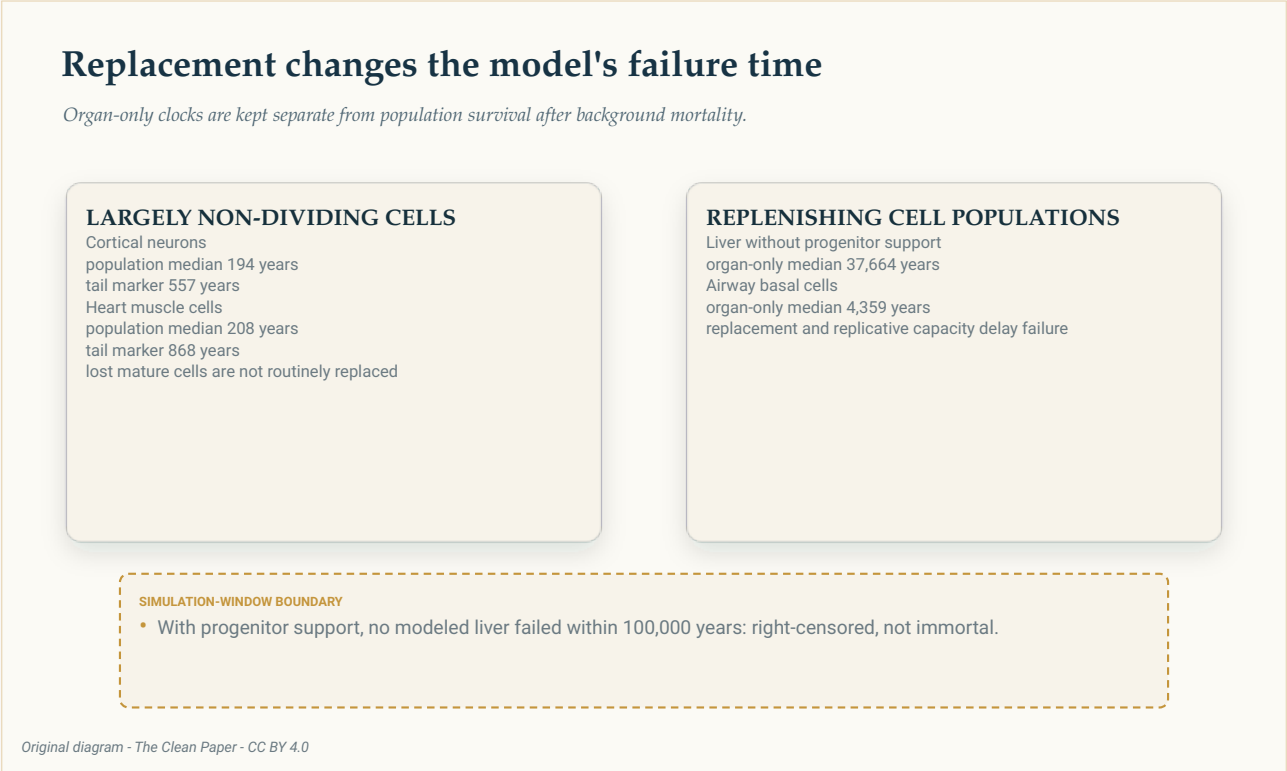
বিভাজন করা টিস্যু আলাদা, কারণ হারানো কোষ নতুন কোষ দিয়ে পূরণ করা যায়।

পূর্বসূরি জনসংখ্যার সহায়তা ছাড়া যকৃতের কোষের মডেলে নির্ণীত মধ্যমা অঙ্গ-ব্যর্থতার সময় ছিল **37,664 বছর**। কিন্তু স্থির পটভূমির ঝুঁকি যোগ করলে জনসংখ্যার মধ্যমা আবার **1,755 বছরে** নেমে আসে, বার্ধক্যহীন প্রাথমিক অবস্থার কাছাকাছি। মিউটেশন-চালিত যকৃত ব্যর্থতা এত দেরিতে আসছিল যে তার আগে পটভূমির মৃত্যুই প্রাধান্য পাচ্ছিল।

মডেলে যকৃতকে কোষ পূরণ করতে সক্ষম পূর্বসূরি কোষের জনসংখ্যা দিলে **100,000-বছরের সিমুলেশন সময়সীমা**-এর মধ্যে কোনো সিমুলেটেড যকৃত ব্যর্থতা সীমায় পৌঁছায়নি। এর মানে অমর যকৃত নয়। এটি ডানদিকে সেন্সর-করা ফল: মডেলে পাওয়া ব্যর্থতা হওয়ার আগেই পর্যবেক্ষণ শেষ হয়েছে।

শ্বাসনালির আবরণ পুনর্গঠনে সাহায্যকারী শ্বাসনালির বেসাল কোষের মডেলে পাওয়া অঙ্গ-ব্যর্থতা মধ্যমা ছিল **4,359 বছর**, আর শুধু অঙ্গের প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকার চিহ্ন **7,617 বছর**। পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি যোগ করার পর মধ্যমা হয় প্রায় 1,755 বছর এবং শেষে প্রান্তরে চিহ্ন **7,132 বছর**।

এই হাজার-বছরের সংখ্যা ফুসফুস বা যকৃত সম্পর্কে পূর্বাভাস নয়। বাস্তব টিস্যুতে প্রদাহ, ফাইব্রোসিস, রক্তনালিসংক্রান্ত ক্ষতি, ক্যানসার, সংক্রমণ এবং অন্য অঙ্গের সঙ্গে পারস্পরিক ক্রিয়া থাকে—এই অত্যন্ত সরলীকৃত মডেলে সেগুলো নেই।



বেশির ভাগ ক্ষেত্রে না-বিভাজিত কোষ এবং পুনরায় কোষ পূরণ করতে সক্ষম টিস্যু মডেলে পাওয়া কোষ ক্ষয়ে ভিন্নভাবে সাড়া দেয়। পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি যোগ করার পর জনসংখ্যা বেঁচে থাকার সঙ্গে শুধু অঙ্গের ব্যর্থতার সময় আলাদা রাখা হয়েছে।

The Clean Paper CC BY 4.0

চারটি টিস্যু একত্র করলে: স্বাধীনতা ধরে মধ্যম আয়ু 156 বছর

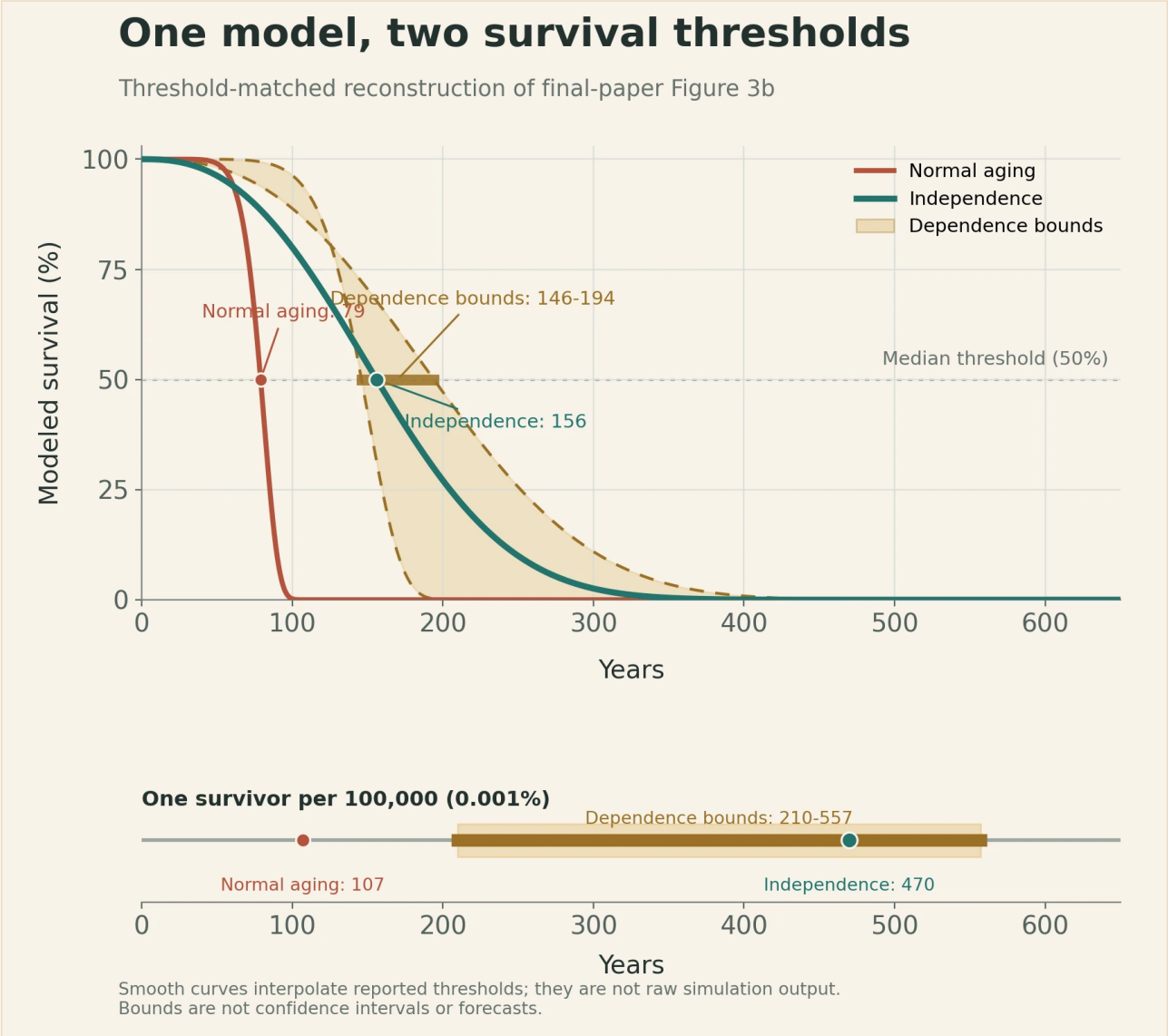
এরপর লেখকেরা নিউরন, কার্ডিওমায়োসাইট, হেপাটোসাইট এবং শ্বাসনালির বেসাল কোষ একত্র করেন। দেহকে একটি **নির্ভরযোগ্যতা-ব্যবস্থা** হিসেবে ধরা হয়: প্রয়োজনীয় কোনো উপাদান ব্যর্থ হলে সিমুলেটেড ব্যক্তি ব্যর্থ। স্থির বয়স-30 পটভূমির ঝুঁকি একই থাকে।

চারটি টিস্যু মডেলে মিলিতে দেহকে সিরিজ ব্যবস্থা হিসেবে ধরা হয়: প্রতিটি প্রয়োজনীয় টিস্যু উপাদান কাজ করা পর্যন্তই সিমুলেটেড ব্যক্তি বেঁচে থাকে। **পারস্পরিক স্বাধীনতা** ধরে নেওয়া হলে একটি টিস্যু কখন ব্যর্থ হয়েছে জানা অন্য টিস্যুর ব্যর্থতার সম্ভাবনা বদলায় না; তাই চারটি বেঁচে থাকার সম্ভাবনা গুণ করা যায়। এই অনুমানে মডেলে-নির্ণীত মধ্যম আয়ু **156 বছর**। প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকার চিহ্ন **470 বছর**।

স্বাধীনতা গাণিতিকভাবে সুবিধাজনক, কিন্তু অঙ্গগুলো স্বাধীন যন্ত্র নয়। তারা রক্তসরবরাহ, প্রদাহ, হরমোন, স্নায়ু এবং সারা শরীরের চাপ ভাগ করে। একটি অঙ্গের ব্যর্থতা অন্যটির অবস্থাও বদলাতে পারে।

এই অজানা পারস্পরিক নির্ভরতা কতটা প্রভাব ফেলতে পারে তা দেখাতে লেখকেরা **Fréchet সীমা** হিসাব করেন: প্রতিটি উপাদানের বেঁচে থাকা বক্ররেখা জানা, কিন্তু তাদের পারস্পরিক নির্ভরতা অজানা হলে সম্মিলিত বেঁচে থাকা বক্ররেখার গাণিতিকভাবে সম্ভব সবচেয়ে বিস্তৃত সীমা। এতে মধ্যমা পরিসর হয় **146 থেকে 194 বছর**। প্রতি 100,000 জনে একজন পরিসর **210 থেকে 557 বছর**।

এই পরিসর কোনো পূর্বাভাসের আস্থার ব্যবধান নয়। উপরের মান সম্পূর্ণভাবে সামঞ্জস্যপূর্ণ ব্যর্থতার সময়ের সঙ্গে মেলে। দুইটির বেশি উপাদান হলে নিচের Fréchet সীমা বাস্তবে অর্জনযোগ্য কোনো যৌথ ধরনই নাও হতে পারে। সীমা দেখায়, অংশগুলোর বেঁচে থাকা জানা থাকলেও ব্যর্থতাগুলোর পারস্পরিক সম্পর্ক অজানা হলে উত্তর কতটা বদলাতে পারে।



নীলাভ-সবুজ বক্ররেখা চার টিস্যুর স্বাধীনতা-ফল। অ্যাম্বার আবরণ গাণিতিক পারস্পরিক নির্ভরতার সীমার সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ পুনর্গঠন যুক্ত করে, আর মরচেরঙা বক্ররেখা গবেষণাপত্রের স্বাভাবিক-বার্ধক্য রেফারেন্স। চূড়ান্ত উৎস বক্ররেখা তথ্য প্রকাশিত না হওয়ায় মসৃণ রেখাগুলো প্রতিবিদেতি 50% ও 0.001% ছেদবিন্দু ইন্টারপোলেট করে; এগুলো সিমুলেশন আবার চালানোর ফল নয়। এগুলো গাণিতিক সীমা, আস্থার ব্যবধান বা পূর্বাভাস নয়।

Original chart - The Clean Paper; thresholds from Efimov et al., npj Aging (2026), Figure 3b CC BY 4.0

One reference case, two different uncertainties

Dependence and parameter sensitivity are not the same calculation.

INDEPENDENCE
four organ-failure times assumed mutually independent
median 156 years
tail marker 470 years

DEPENDENCE BOUNDS
same component curves; unknown joint failure pattern
median 146-194 years
tail marker 210-557 years

PARAMETER SENSITIVITY
300 sampled parameter sets; uncertain chance that one mutation kills a cell
some organ clocks can shift by one or two orders of magnitude

WHAT THESE RANGES ARE NOT
- Frechet bounds are mathematical outer limits, not confidence intervals
- none of the values is a forecast of reachable human lifespan

Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

স্বাধীনতা ফল একটি রেফারেন্স ক্ষেত্র। নির্ভরতা সীমা গাণিতিক বাইরের সীমা, আর 300টি প্যারামিটার সেট একটি মিউটেশন কোষকে মারবে—এমন ধরে নেওয়া সম্ভাবনার অতিরিক্ত অনিশ্চয়তা দেখায়।

The Clean Paper CC BY 4.0

নির্ভরতা সীমা কী?

ধরুন চারটি উপাদানের প্রতিটির কোনো সময়ে কাজ করতে থাকার সম্ভাবনা জানা, কিন্তু তারা একসঙ্গে ব্যর্থ হওয়ার প্রবণতা কতটা তা জানা নেই। Fréchet সীমা কোনো নির্দিষ্ট নির্ভরতার ধরন না বেছে সম্মিলিত ফলের জন্য গাণিতিকভাবে সর্বাধিক বিস্তৃত অনুমোদিত পরিসর দেয়। এগুলো অনুপস্থিত তথ্যের সুরক্ষাসীমা; বারবার মানব পর্যবেক্ষণ থেকে পাওয়া ত্রুটি দণ্ড নয়।

প্রাণঘাতী মিউটেশনের সম্ভাবনা বড় অনিশ্চয়তা

মডেলের একটি ইনপুট বিশেষভাবে কঠিন: নতুন কোনো মিউটেশন একটি কোষের জন্য প্রাণঘাতী হওয়ার সম্ভাবনা।

পরিপূরক উপকরণে **300টি প্যারামিটার সেট** নিয়ে বিশ্লেষণ আবার চালানো হয়েছে। একক-অক্ষর মিউটেশন এবং ছোট সন্নিবেশ/বিয়োজন—দুটোর জন্যই একটি মিউটেশন কোষকে মারবে এমন ধরে নেওয়া সম্ভাবনার সাধারণ নিম্নসীমা ছিল 1.94 x 10^-7। কোষ-নির্দিষ্ট উচ্চসীমা ছিল নিউরনের জন্য 2.25 x 10^-4, কার্ডিওমায়োসাইটের জন্য 1.08 x 10^-4, হেপাটোসাইটের জন্য 1.02 x 10^-4, যকৃত পূর্বসূরি কোষের জন্য 1.60 x 10^-4 এবং শ্বাসনালির বেসাল কোষের জন্য 1.77 x 10^-4। মানগুলো লগারিদমিক স্কেলে স্বাধীনভাবে নমুনা করা হয়েছে, তাই সামান্য শতাংশ নয়, অনেক গুণ পর্যন্ত বদলাতে পারে।

এই অনিশ্চিত ইনপুট বদলালে কিছু টিস্যু-ব্যর্থতা বয়স প্রায় 10 থেকে 100 গুণ পর্যন্ত বদলেছে। তবুও প্রতিটি পরীক্ষিত প্যারামিটার সেটে সামগ্রিক ক্রম একই ছিল: অবিভাজিত টিস্যু পুনরায় কোষ পূরণকারী টিস্যুর আগে মিউটেশন-সীমিত হয়েছে। টিস্যু ধরনের তুলনার জন্য এই স্থিতিশীল ক্রম সমর্থন দেয়, কিন্তু কোনো সঠিক আয়ু অনুমান সত্য তা বলে না।

সংবেদনশীলতা বিশ্লেষণ প্রশ্ন করে: “অনিশ্চিত ইনপুট বদলালেও সিদ্ধান্তটি টিকে থাকে কি?” কোন ইনপুট মান বাস্তবে সঠিক, তা এটি বলে না।

মডেলে এমন জীববিজ্ঞান সরিয়ে দেয়, যা বাস্তবে আগে দেখা দিতে পারে

এই মডেলে মাত্র চারটি কোষ-জনসংখ্যা আছে। প্রাণঘাতী মিউটেশনকে স্বাধীন কোষ-স্তর ঘটনা হিসেবে ধরা হয়েছে এবং নির্ধারিত জনসংখ্যা সীমা দিয়ে অঙ্গের ব্যর্থতা প্রকাশ করা হয়েছে। প্রাণঘাতী নয় এমন কার্যহানি—যেখানে কোষ বেঁচে থাকে কিন্তু খারাপ কাজ করে—বাদ। সুস্থ কোষকে সরিয়ে ক্ষতিগ্রস্ত কলোন ছড়িয়ে পড়াও বাদ। অঙ্গগুলোর পারস্পরিক ক্রিয়া সরল করা হয়েছে।

ক্যানসারও সরিয়ে রাখা হয়েছে। মডেলে ধরে নিয়েছে ক্যানসারজনিত রূপান্তর রোগপ্রতিরোধী নজরদারি দিয়ে দূর হয়, তাই ক্যানসার বয়সের সঙ্গে বাড়ে না। ক্রমবর্ধমান প্রদাহজনিত, অন্তঃস্রাবী, রক্তনালিসংক্রান্ত ও স্নায়বিক প্রতিক্রিয়াও অনুপস্থিত।

আরও গভীর প্রতিকল্পিত সমস্যা আছে। মিউটেশন হার নেওয়া হয়েছে বাস্তব বার্ধক্যমান শরীরের বাস্তব টিস্যু থেকে। অথচ পরে সেই হার এমন দেহে বসানো হয়েছে, যেখানে অক্সিডেটিভ চাপ ও অন্য ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রিয়া সরিয়ে দেওয়া হয়েছে। এই সম্মিলিত অনুমান সরাসরি যাচাই করা যায় এমন কোনো জনসংখ্যা নেই।

বাদ দেওয়া ব্যর্থতার ধরন যোগ করলে প্রস্তাবিত উচ্চসীমা কেবল আগেই আসতে পারে। এতে নথিভুক্ত বয়সে পৌঁছানো সহজ হবে না।

বড় সংখ্যাগুলোর আসল উদ্দেশ্য কী

সামনে থেকে পড়লে গবেষণাপত্রটি যেন 1,759 বছর থেকে 156 বছরে নেমে আসে। উল্টো দিক থেকে দেখলে উদ্দেশ্যটি আরও স্পষ্ট।

1,759-বছরের প্রাথমিক অবস্থা ইচ্ছাকৃতভাবে অবাস্তব। এটি এমন একটি জগৎ তৈরি করে যেখানে বয়স বাড়লেও অধিকাংশ ঝুঁকি বাড়ে না। তারপর মডেলে পাওয়া মস্তিষ্ক ও হৃদ্‌যন্ত্রে মিউটেশন-চালিত কোষ ক্ষয় সেই জগতের আয়ুকে এমন পরিসরে নামিয়ে আনে, যা পর্যবেক্ষিত মানব বেঁচে থাকার চেয়ে এখনও বেশি কিন্তু কৃত্রিম প্রাথমিক অবস্থার তুলনায় অনেক কম।

এই ব্যবধান একটি সংকীর্ণ ধারণাকে সমর্থন করে: অন্য বহু ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রিয়া অদৃশ্য হয়ে গেলেও দেহকোষীয় মিউটেশন জমা হওয়া একটি অর্থপূর্ণ সীমা হয়ে থাকতে পারে। এতে মিউটেশনই বার্ধক্যের একমাত্র কারণ প্রতিষ্ঠা হয় না। মিউটেশন মুছে দিলে নথিভুক্ত বয়স পাওয়া যাবে—তাও বলা হয় না। গবেষণাটি কোনো হস্তক্ষেপ বা মিউটেশন হার বদলানোর ক্ষতি ও সুবিধা-অসুবিধার বিনিময় মডেল করেনি।

চিন্তা-পরীক্ষাটির মূল্য চরম দীর্ঘজীবনের প্রতিশ্রুতি নয়। বরং স্পষ্ট ব্যর্থতাগুলো সরিয়ে দিলে কোন ব্যর্থতা বাকি থাকে, তা জিজ্ঞেস করার একটি উপায়।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

এই গবেষণায় জনমিতিক ও টিস্যু-নির্ভর যোগ্যতা মডেল ব্যবহার করে জিজ্ঞেস করা হয়েছে, এমন একটি প্রতিকল্পিত জগতে মিউটেশন-চালিত কোষ ক্ষয় আয়ু কতটা সীমাবদ্ধ করতে পারে যেখানে অন্য প্রায় সব ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রিয়া সরিয়ে দেওয়া হয়েছে। পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি আজকের সুইস বয়স-30 স্তরে অনির্দিষ্টকাল স্থির। মাত্র চারটি মডেলকৃত কোষ-জনসংখ্যা একত্র করা হয়েছে, এবং প্রতিস্থাপন বা মিউটেশন-হ্রাসকারী হস্তক্ষেপ নেই। স্বাধীনতা অনুমানে মডেল-নির্ণীত মধ্যম আয়ু **156 বছর**, আর প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকা চিহ্ন **470 বছর**। টিস্যু ব্যর্থতার মধ্যে গাণিতিকভাবে যেকোনো সম্ভব সম্পর্ক অনুমোদন করলে গাণিতিক বহিঃসীমা এগুলোকে **146–194** ও **210–557 বছরে** বিস্তৃত করে। নিউরন ও হৃদ্‌পেশির কোষ মডেলকৃত যকৃত ও শ্বাসনালির কোষ-জনসংখ্যার আগে সীমাবদ্ধকারী কারণ হয়। এগুলো

শর্তসাপেক্ষ সিমুলেশন ফল, পর্যবেক্ষিত মানব-আয়ুর সীমা, চিকিৎসার পূর্বাভাস বা মানুষ ওই বয়স পর্যন্ত বাঁচতে পারে—এমন প্রমাণ নয়।

সরাসরি যাচাই

গবেষণাপত্রটি কী দেখায়: ইচ্ছাকৃতভাবে অত্যন্ত সরলীকৃত মডেলে, অবিভাজিত কোষে মিউটেশন-চালিত ক্ষয় একটি স্থির কম পটভূমি-মৃত্যু ঝুঁকির তুলনায় অনেক আগে গুরুত্বপূর্ণ সীমাবদ্ধকারী কারণ হয়। সঠিক ফল অঙ্গ মডেলে, পারস্পরিক নির্ভরতা অনুমান এবং প্রাণঘাতী-মিউটেশন প্যারামিটারের ওপর নির্ভর করে।

কী উপযোগী কিন্তু শর্তসাপেক্ষ: পারস্পরিক স্বাধীনতায় সম্মিলিত মধ্যমা **156 বছর**। একই উপাদান বক্ররেখা কিন্তু পারস্পরিক নির্ভরতা অজানা হলে গাণিতিক বহিঃসীমা **146–194 বছর**। মডেলের প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকার চিহ্ন স্বাধীনতায় **470 বছর**, সীমায় **210–557 বছর**।

কী দেখায় না: মানুষ 194 বা 557 বছর বাঁচতে পারে; এগুলো কঠোর জৈবিক সীমা; দেহকোষীয় মিউটেশন বার্ধক্যের একমাত্র কারণ; কোনো চিকিৎসা অন্য বার্ধক্য প্রক্রিয়া সরাতে পারে; বা মিউটেশন কমালে মডেলের ফলাফল পাওয়া যাবে।

প্রধান সীমাবদ্ধতা: পুরো দেহের বদলে চারটি কোষ জনসংখ্যা; পটভূমির মৃত্যুঝুঁকি বয়স 30-এ অনির্দিষ্টকাল স্থির; ক্যানসার ও অন্য ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রিয়া অনুমান দিয়ে বাদ; অঙ্গ পারস্পরিক ক্রিয়া সরলীকৃত; মিউটেশন হার বাস্তব বার্ধক্যমান টিস্যু থেকে; কয়েকটি ব্যর্থতা সীমা ও প্রাণঘাতী সম্ভাবনা মডেল-পছন্দ; এবং কেন্দ্রীয় প্রতিকল্পিত অনুমান সমতুল্য মানব জনসংখ্যায় পরীক্ষা করা যায় না।

সাধারণ পাঠকের কতটা আস্থা রাখা উচিত? ঘোষিত মডেল ও প্যারামিটার পছন্দ থেকে প্রতিবেদিত সংখ্যা আসে—এ বিষয়ে উচ্চ আস্থা। ওই অনুমানের মধ্যে অবিভাজিত ও পুনর্ভরণকারী টিস্যুর গুণগত পার্থক্যে মাঝারি আস্থা। কোনো শিরোনামে দেখা বয়সগুলো বাস্তবে অর্জনযোগ্য মানব আয়ু পূর্বাভাস দেয়—এতে খুব কম আস্থা।

উৎস

Efimov et al., Somatic mutations impose an entropic upper bound on human lifespan, npj Aging (2026), article in press
https://doi.org/10.1038/s41514-026-00421-6

Computational Aging Lab, model and analysis code
https://github.com/ComputationalAgingLab/somatic-mutations-simulation