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 জিজ্ঞেসে 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 মডেল প্রায় সব ধীরে-ধীরে বাড়তে থাকা বার্ধক্যপ্রক্রিয়া সরিয়ে দিল। তবু দেহকোষীয় মডিটশেন চিন্তা-পরীক্ষাটির শেষে টানল

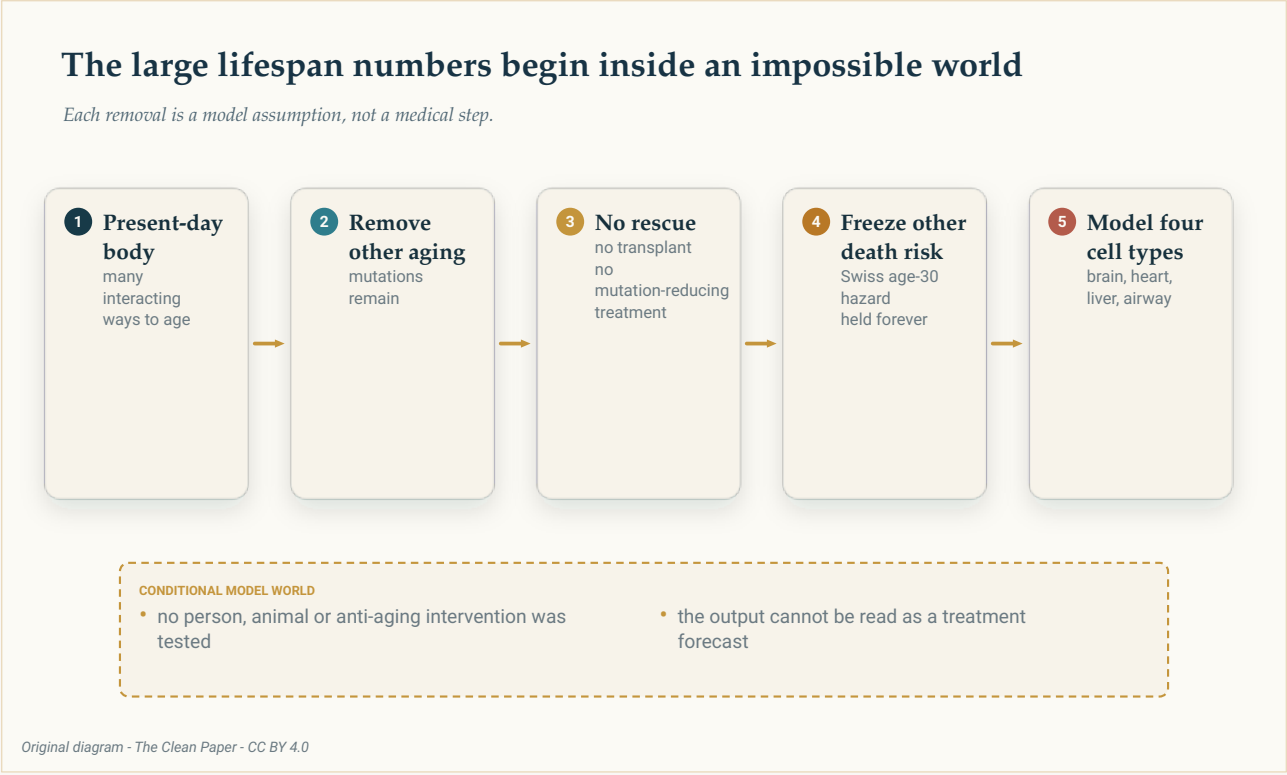
ভাবুন এমন একটি মানবদেহ, যেখানে বার্ধক্যের প্রায় সব পরিচিত ধীরে-ধীরে বাড়তে থাকা প্রক্রিয়া বন্ধ। রক্তনালি ক্রমশ নষ্ট হয় না। প্রোটিনের গুণমান ধীরে ধীরে কমে না। প্রদাহ, ক্যানসার এবং বয়স-সম্পর্কিত অন্যান্য ব্যর্থতা বয়সের সঙ্গে বাড়ে না। কোনো অঙ্গ প্রতিস্থাপন করা হয় না, এবং কোনো চিকিৎসা কোষের ভেতরে 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 মডিটশেন-চালিত কোষক্ষয়ের কম্পিউটার সিমুলেশন মিলিয়েছে। এর একটি শর্তসাপেক্ষ উত্তর হলো: ক্ষতিকর **দেহকোষীয় মডিটশেন**-এর পর ধীরে ধীরে কোষ হারানো শেষ পর্যন্ত সীমাবদ্ধকারী কারণ হতে পারে, বিশেষ করে মস্তিষ্ক ও হৃদ্‌যন্ত্রে। দেহকোষীয় মডিটশেন 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 উদ্দীপনাময় 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।




মডিটশেন-চালিত কোষক্ষয় কী করবে তা জিজ্ঞেসে 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: মডেলে 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**।

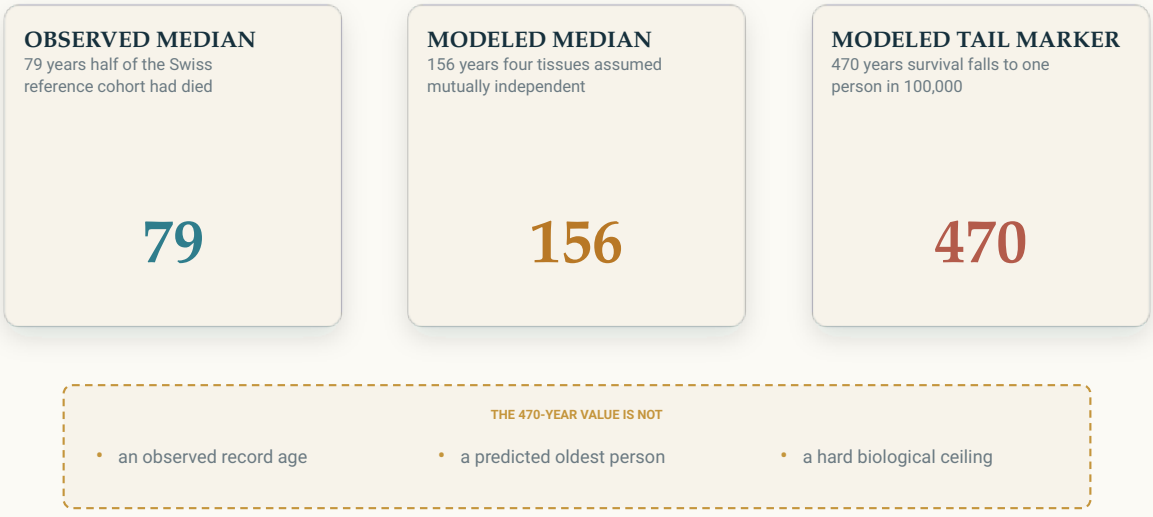
কোনো সংখ্যাই জৈবিক দাবি নয়। কম প্রাপ্তবয়স্ক-মৃত্যুঝুঁকি অনির্দিষ্ট ভবিষ্যৎ পর্যন্ত প্রক্ষেপণ করলে কী ঘটে, তা দেখানোর জন্য এগুলো।

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।

## Three clocks that must not be merged

*Observed lifespan and modeled survival markers answer different questions.*




*Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0*

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 বক্ররেখা-সহ সিমুলেশন কখনো ঠিক শূন্যে নামতে 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 আগে শুধু অঙ্গের মধ্যমা ব্যর্থতার সময় ছিল আনুমানিক 198 ও 212 বছর।

এগুলো দেখায় না যে বাস্তব মস্তিষ্ক বা হৃদযন্ত্রে 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

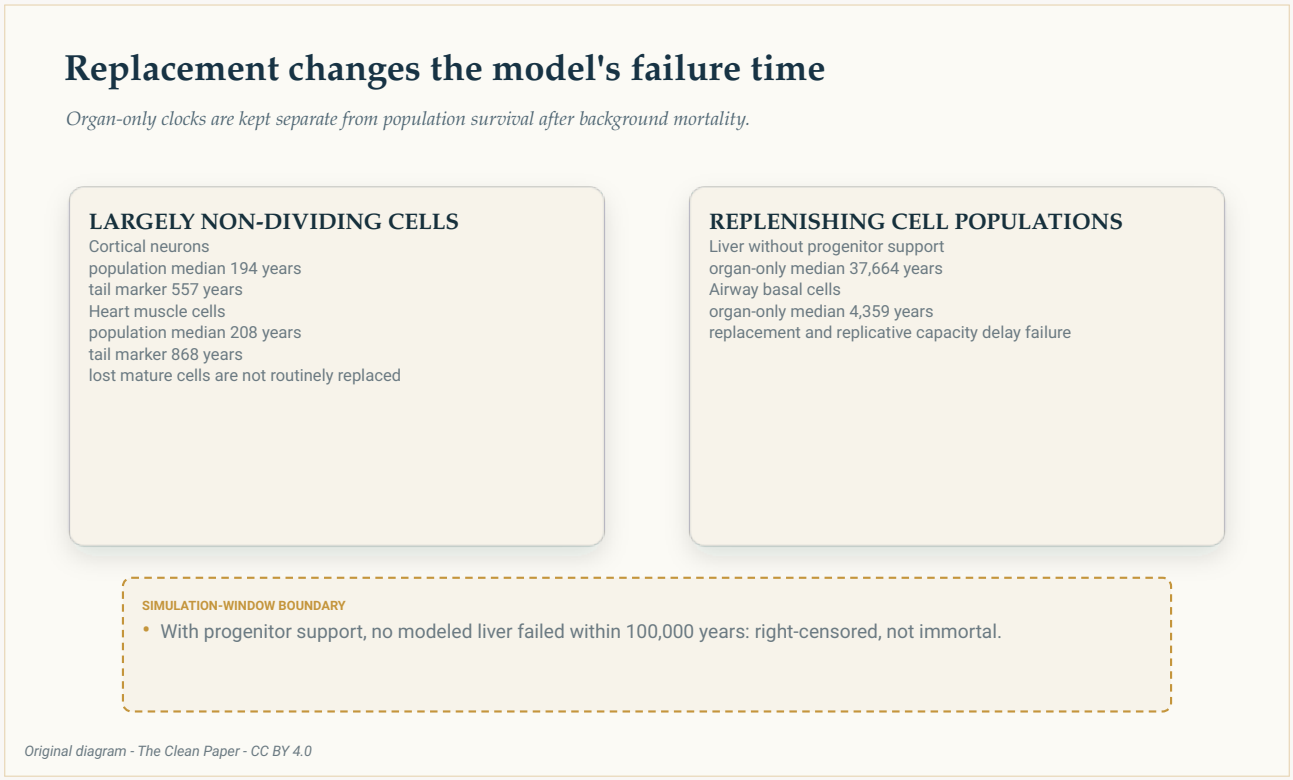
বিভাজন করা টিস্যু আলাদা, কারণ হারানো কোষ নতুন কোষ দিয়ে পূরণ করা যায়।

পূর্বসূরি জনসংখ্যার সহায়তা ছাড়া যকৃতের কোষের মডেল-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 পটভূমি মৃত্যু-ই 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।




বেশিরি ভাগ ক্ষত্রে 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

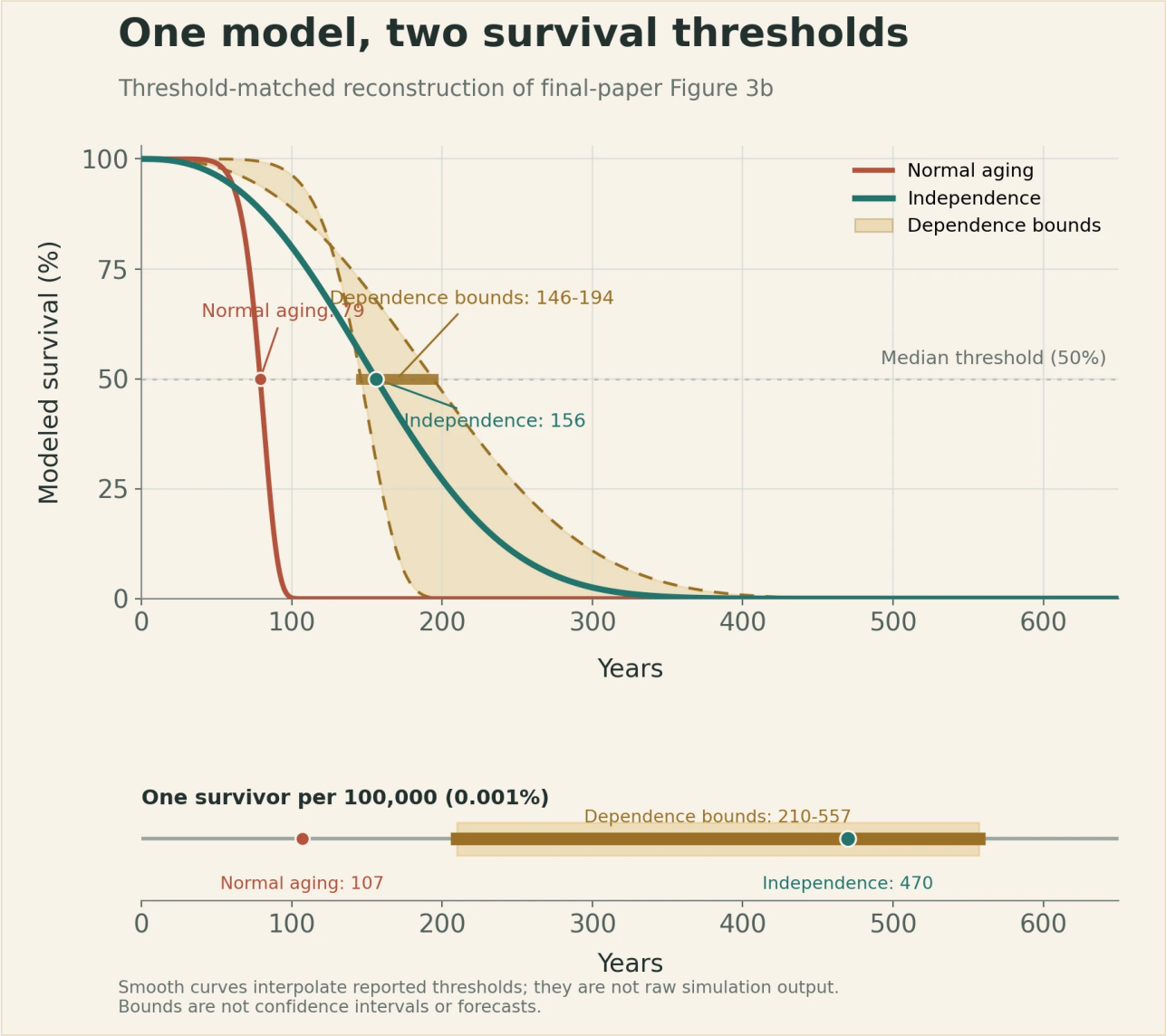
এরপর লেখকেরা নিউরন, কার্ডিওমায়োসাইট, হেপাটোসাইট এবং শ্বাসনালির বেসাল কোষ একত্র করেন। দেহকে একটি **নির্ভরযোগ্যতা-ব্যবস্থা** হিসেবে ধরা হয়: প্রয়োজনীয় কোনো উপাদান ব্যর্থ হলে সিমুলেটেড ব্যক্তি ব্যর্থ। স্থির বয়স-30 পটভূমির ঝুঁকি একই থাকে।

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 মডেল-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 শরীরে চাপ ভাগ করে। একটি অঙ্গের ব্যর্থতা অন্যটির অবস্থাও বদলাতে পারে।

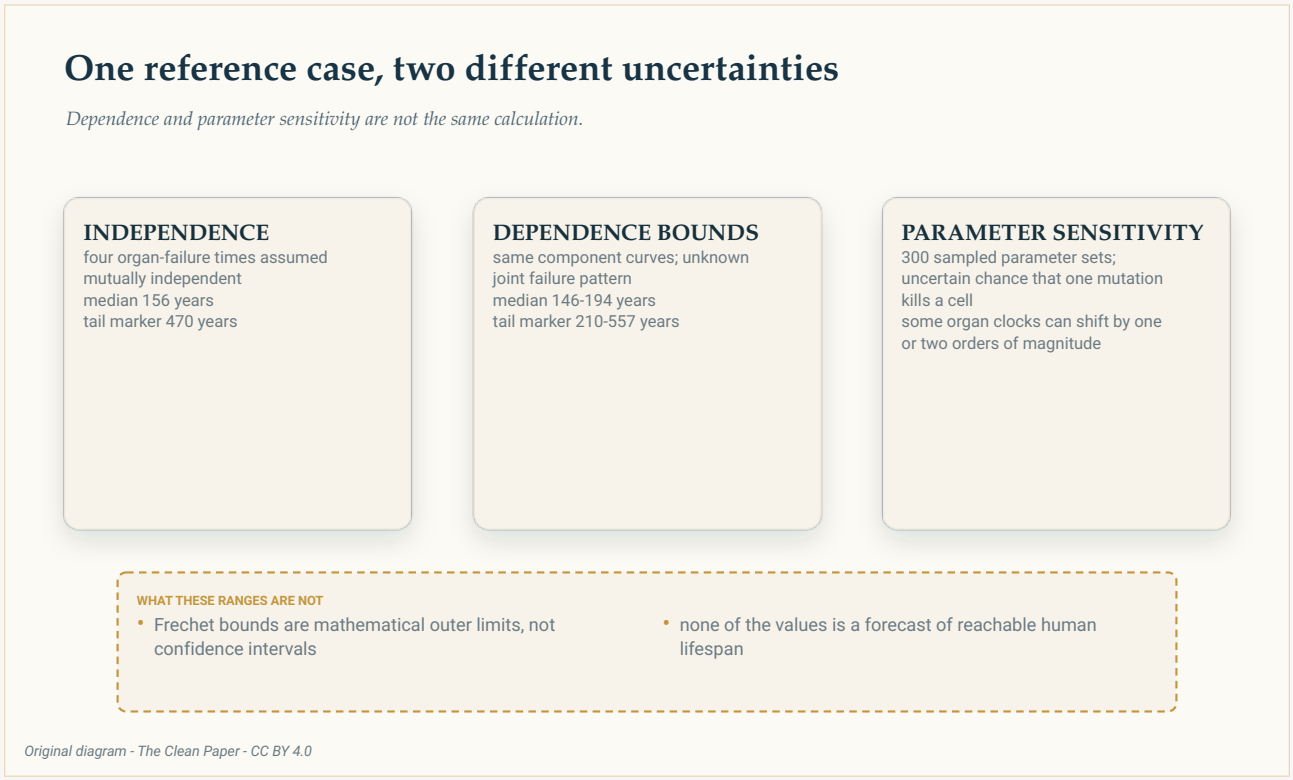
এই অজানা পারস্পরিক নির্ভরতা কতটা প্রভাব ফেলতে পারে তা দেখাতে লেখকেরা Fréchet **সীমা** হিসাব করেন: প্রতিটি উপাদানের বেঁচে থাকা বক্ররেখা জানা, কিন্তু তাদের পারস্পরিক নির্ভরতা অজানা হলে সম্মিলিত বেঁচে থাকা বক্ররেখার গাণিতিকভাবে সম্ভব সবচেয়ে বিস্তৃত সীমা। এতে মধ্যমা পরিসর হয় **146 থেকে 194 বছর**। প্রতি 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 ধরন-ই নাও হতে পারে। সীমা দেখায়, অংশগুলোর বেঁচে থাকা জানা থাকলেও ব্যর্থতাগুলোর পারস্পরিক সম্পর্ক অজানা হলে উত্তর কতটা বদলাতে পারে।




নীলাভ-সবুজ বক্ররেখা চার-টস্যি স্বাধীনতা ফল। অ্যাম্বার আবরণ গাণতিকি পারস্পরকি নর্িভরতার সীমার সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ পুনর্গঠন যুক্ত কর, আর মরচরেঙা বক্ররেখা গবষেণাপত্রর স্বাভাবকি-বার্ধক্য রফোরন্স। চূড়ান্ত উৎস বক্ররেখা তথ্য প্রকাশতি না হওয়ায় মসৃণ রখোগুলো প্রতবিদেতি 50% ও 0.001% ছদেবন্দু ইন্টারপোলটে কর; এগুলো সমিুলশেন আবার চালানোর ফল নয়। এগুলো গাণতিকি 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




স্বাধীনতা ফল একটি রিফোরেন্স ক্ষত্রে। নির্ভরতা সীমা গাণতিকি বাইররে সীমা, আর 300টি প্যারামটিার সটে একটি মডিটশেন কোষকে মারবে—এমন ধরে নওেয়া সম্ভাবনার অতরিক্তি অনশ্চিয়তা দখোয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

**নির্ভরতা সীমা কী?**

ধরুন চারটি উপাদানরে প্রতটিরি কোনো সময়ে কাজ করতে থাকার সম্ভাবনা জানা, কন্তিু তারা একসঙ্গে ব্যর্থ হওয়ার প্রবণতা কতটা তা জানা নইে। Fréchet সীমা কোনো নর্দিষ্টি নর্ভিরতার ধরন না বছেে সম্মলিতি ফলরে জন্য গাণতিকিভাবে সর্বাধকি বস্তিৃত অনুমোদতি পরসির দয়ে। এগুলো অনুপস্থতি তথ্যরে সুরক্ষাসীমা; বারবার মানব পর্যবক্ষেণ থকেে পাওয়া ত্রুটি দণ্ড নয়।

# প্রাণঘাতী মডিটশেনরে সম্ভাবনা বড় অনশ্চিয়তা

মডলেরে একটি ইনপুট বশিষেভাবে কঠনি: নতুন কোনো মডিটশেন একটি কোষরে জন্য প্রাণঘাতী হওয়ার সম্ভাবনা।

পরপূিরক উপকরণে **300টি প্যারামটিার সটে** নয়িে বশি্লষেণ আবার চালানো হয়ছে। একক-অক্ষর মডিটশেন এবং ছোট সন্নবিশে/বয়িোজন—দুটোর জন্যই একটি মডিটশেন কোষকে মারবে এমন ধরে নওেয়া সম্ভাবনার সাধারণ নম্নিসীমা ছলি 1.94 x 10^-7। কোষ-নর্দিষ্টি উচ্চসীমা ছলি নডিরনরে জন্য 2.25 x 10^-4, কার্ডওিমায়োসাইটরে জন্য 1.08 x 10^-4, হপোটোসাইটরে জন্য 1.02 x 10^-4, যকৃত পূর্বসূরি কোষরে জন্য 1.60 x 10^-4 এবং শ্বাসনালরি বসোল কোষরে জন্য 1.77 x 10^-4। মানগুলো লগারদিমকি স্কলেে স্বাধীনভাবে নমুনা করা হয়ছে, তাই সামান্য শতাংশ নয়, অনকে গুণ পর্যন্ত বদলাতে পারে।

এই অনশ্চিতি ইনপুট বদলালে কছিু টস্যিু-ব্যয়র্থতা বয়স প্রায় 10 থকেে 100 গুণ পর্যন্ত বদলছে। তবুও প্রতটিি পরীক্ষতি প্যারামটিার সটেে সামগ্রকি ক্রম একই ছলি: অবভিাজতি টস্যিু পুনরায় কোষ পূরণকারী টস্যিুর আগে মডিটশেন-সীমতি হয়ছে। টস্যিু ধরনরে তুলনার জন্য এই স্থতিশীল ক্রম সমর্থন দয়ে, কন্তিু কোন সঠকি আয়ু অনুমান সত্য তা বলে না।

সংবেদনশীলতা বশ্লিষেণ প্রশ্ন করে: “অনশ্চিতি ইনপুট বদলালওে সদ্ধিান্তটি টকিে থাকে কি?” কোন ইনপুট মান বাস্তবে সঠকি, তা এটি বলে না।

## মডলে এমন জীববজ্ঞিান সরয়িে দয়ে, যা বাস্তবে আগে দখো দতিে পারে

এই মডলেে মাত্র চারটি কোষ-জনসংখ্যা আছে। প্রাণঘাতী মউিটশেনকে স্বাধীন কোষ-স্তর ঘটনা হসিবে ধরা হয়ছে এবং নর্িধারতি জনসংখ্যা সীমা দয়িে অঙ্গরে ব্যর্থতা প্রকাশ করা হয়ছে। প্রাণঘাতী নয় এমন কার্যহানি—যখোনে কোষ বঁচেে থাকে কন্িতু খারাপ কাজ করে—বাদ। সুস্থ কোষকে সরয়িে ক্ষতগ্রিস্ত ক্লোন ছড়য়িে পড়াও বাদ। অঙ্গগুলোর পারস্পরকি ক্রয়িা সরল করা হয়ছে।

ক্যানসার-ও সরয়িে রাখা হয়ছে। মডলে ধরে নয়িছে ক্যানসারজনতি রূপান্তর রোগপ্রতরিোধী নজরদারি দয়িে দূর হয়, তাই ক্যানসার বয়সরে সঙ্গে বাড়ে না। ক্রমবর্ধমান প্রদাহজনতি, অন্তঃস্রাবী, রক্তনালসিংক্রান্ত ও স্নায়বকি প্রতক্রিয়িা-ও অনুপস্থতি।

আরও গভীর প্রতকিল্পতি সমস্যা আছে। মউিটশেন হার নওেয়া হয়ছে বাস্তব বার্ধক্যমান শরীররে বাস্তব টস্যিু থকেে। অথচ পরে সইে হার এমন দহেে বসানো হয়ছে, যখোনে অক্সডিটেভি চাপ ও অন্য ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রয়িা সরয়িে দওেয়া হয়ছে। এই সম্মলিতি অনুমান সরাসরি যাচাই করা যায় এমন কোনো জনসংখ্যা নইে।

বাদ দওেয়া ব্যর্থতার ধরন যোগ করলে প্রস্তাবতি উচ্চসীমা কবেল আগইে আসতে পার। এতে নথভিুক্ত বয়সে পৌঁছানো সহজ হবে না।

## বড় সংখ্যাগুলোর আসল উদ্দশ্যে কী

সামনে থকেে পড়লে গবষেণাপত্রটি যনে 1,759 বছর থকেে 156 বছরে নমেে আস। উল্টো দকি থকেে দখেলে উদ্দশ্যেটি আরও স্পষ্ট।

1,759-বছররে প্রাথমকি অবস্থা ইচ্ছাকৃতভাবে অবাস্তব। এটি এমন একটি জগৎ তরৈি করে যখোনে বয়স বাড়লওে অধকিাংশ ঝুঁকি বাড়ে না। তারপর মডলেে পাওয়া মস্তষ্কি ও হৃদ্যন্ত্রে মউিটশেন-চালতি কোষ ক্ষয় সইে জগতরে আয়ু-কে এমন পরসিরে নাময়িে আন, যা পর্যবক্ষেতি মানব বঁচেে থাকার চয়েে এখনও বশেি কন্িতু কৃত্রমি প্রাথমকি অবস্থার তুলনায় অনকে কম।

এই ব্যবধান একটি সংকীর্ণ ধারণাকে সমর্থন করে: অন্য বহু ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রয়িা অদৃশ্য হয়ে গলেওে দহেকোষীয় মউিটশেন জমা হওয়া একটি অর্থপূর্ণ সীমা হয়ে থাকতে পার। এতে মউিটশেনই বার্ধক্যরে একমাত্র কারণ প্রতষ্ঠিা হয় না। মউিটশেন মুছে দলিে নথভিুক্ত বয়স পাওয়া যাব—তাও বলা হয় না। গবষেণাটি কোনো হস্তক্ষপে বা মউিটশেন হার বদলানোর ক্ষতি ও সুবধিা-অসুবধিার বনিমিয় মডলে করনে।

চন্িতা-পরীক্ষাটরি মূল্য চরম দীর্ঘজীবনরে প্রতশ্রিুতি নয়। বরং স্পষ্ট ব্যর্থতাগুলো সরয়িে দলিে কোন ব্যর্থতা বাকি থাক, তা জজ্ঞিসে করার একটি উপায়।

## সংক্ষপ্তি সারাংশ

এই গবষেণায় জনমতিকি ও টস্যিু-নর্িভরযোগ্যতা মডলে ব্যবহার করে জজ্ঞিসে করা হয়ছে, এমন একটি প্রতকিল্পতি জগতে মউিটশেন-চালতি কোষ ক্ষয় আয়ু কতটা সীমাবদ্ধ করতে পারে যখোনে অন্য প্রায় সব ক্রমবর্ধমান বার্ধক্য প্রক্রয়িা সরয়িে দওেয়া হয়ছে। পটভূমরি মৃত্যুঝুঁকি আজকরে সুইস বয়স-30 স্তরে অনর্দিষ্টিকাল স্থরি। মাত্র চারটি মডলেকৃত কোষ-জনসংখ্যা একত্র করা হয়ছে, এবং প্রতস্থিাপন বা মউিটশেন-হ্রাসকারী হস্তক্ষপে নইে। স্বাধীনতা অনুমানে মডলে-নর্িণীত মধ্যম আয়ু **156 বছর**, আর প্রতি 100,000 জনে একজন বঁচেে থাকা চহ্নি **470 বছর**। টস্যিু ব্যর্থতার মধ্যে গাণতিকিভাবে যকেোনো সম্ভব সম্পর্ক অনুমোদন করলে গাণতিকি বহঃিসীমা এগুলোকে **146–194** ও **210–557 বছরে** বস্তিৃত কর। নউিরন ও হৃদপশেরি কোষ মডলেকৃত যকৃত ও শ্বাসনালরি কোষ-জনসংখ্যার আগে সীমাবদ্ধকারী কারণ হয়। এগুলো

শর্তসাপেক্ষে সম্মিলনের 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 গাণিতিক বহিঃসীমা **146–194 বছর**। মডেলের প্রতি 100,000 জনে একজন বেঁচে থাকার চিহ্নিন 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 সারাতে 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; ক্ষয়কেটি 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