



The CLEAN PAPER

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

গন্ধ হারিয়েও মাছ ফিরে ঘুরতে পারে। Virtual plume-এ মনে রাখা দিক তাকে সাহায্য করেছে

Tethered fruit fly গন্ধের corridor থেকে পরিস্কার বাতাস-এ বেরিয়ে যাওয়ার পরও বারবার একই গন্ধের সীমানা-তে ফিরে এসেছে। আচরণ, modeling ও neural perturbation পূর্ণ spatial map-এর বদলে ছোট একটি দিক memory-র পক্ষে প্রমাণ দিয়ে। ফলটোয় নিয়ন্ত্রিত virtual-reality assay থেকে; প্রাকৃতিক মুক্ত উড়ান-এ একই কৌশল এখনো দেখানো হয়নি।

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

Paper: A vector-based strategy for olfactory navigation in *Drosophila*, Andrew F. Siliciano, Sun Minni, Chad Morton, Charles K. Dowell, Noelle B. Eghbali, Silas E. Busch, Juliana Y. Rhee, L. F. Abbott and Vanessa Ruta, Nature (2026) · DOI: 10.1038/s41586-026-10827-7

গন্ধ হারিয়েও একটি মাছ আবার তার দকি ফরিতে পারে

মাছটি গন্ধেরে এলাকা ছড়ে বেরিয়ে গিয়েছিল।

তারপরও সে পরষিকার বাতাসেরে মধ্যে হাঁটতে থাকে—কখনও কয়কে দশক সকেনেড, কখনও শত শত ভার্চুয়াল মলিমিটার। এরপর সে আগরে অতিক্রম করা সীমানার দকি ঘুরে আবার গন্ধ খুঁজে পায়। সেই মুহূর্তে গন্ধ নজিরে আর তাকে ফরিরে যাওয়ার দকি দেখোতে পারত না।

ফলমাছরি দকিনরিণয় নিয়ে নতুন একটি প্রকৃতিগবষণে-র মূল পরযবকেষণ এটি। গবষেকদরে যুক্তি, মাছগুলিরে দকিরে একটি ছোট্ট স্মৃতিব্যবহার করছেলি: পুরে গন্ধ প্লুমেরে মানচিত্র নয়, হাঁটা দূরত্বেরে স্মৃতিও নয়, বরং তখন আর অনুভব করা যাচ্ছিল না এমন একটি সীমানার দকি মনে রাখা দকিনরিদেশে।

ফলটি আকরষণীয়, কারণ খুব অল্প সংরক্ষতি তথ্যও যথেষ্ট হতে পারে তা দেখায়। তবে এটিকে বাড়িয়ে বলা সহজ। মাছগুলিরে প্রাকৃতিক পরিবেশে মুক্তভাবে উড়ছিল না। তারা একটি হালকা, বাতাসে ভাসমান বলরে ওপর বাঁধা অবস্থায় হাঁটছিল, কঠোরভাবে নিয়ন্ত্রিত ভার্চুয়াল জগতেরে মধ্যে। এই যন্ত্রপাতিতে ভেক্টর-ভিত্তিক কৌশলেরে পক্ষে গবষণটি প্রমাণ দিয়ে; কনিত্র মাছ মানসিক মানচিত্র বানায়, প্রাণীরে গন্ধ অনুসরণ করার সব পদ্ধতি এটি ব্যাখ্যা করে, বা স্মৃতি কৌশলে শারীরিকভাবে জমা থাকে—এসব দেখায় না।

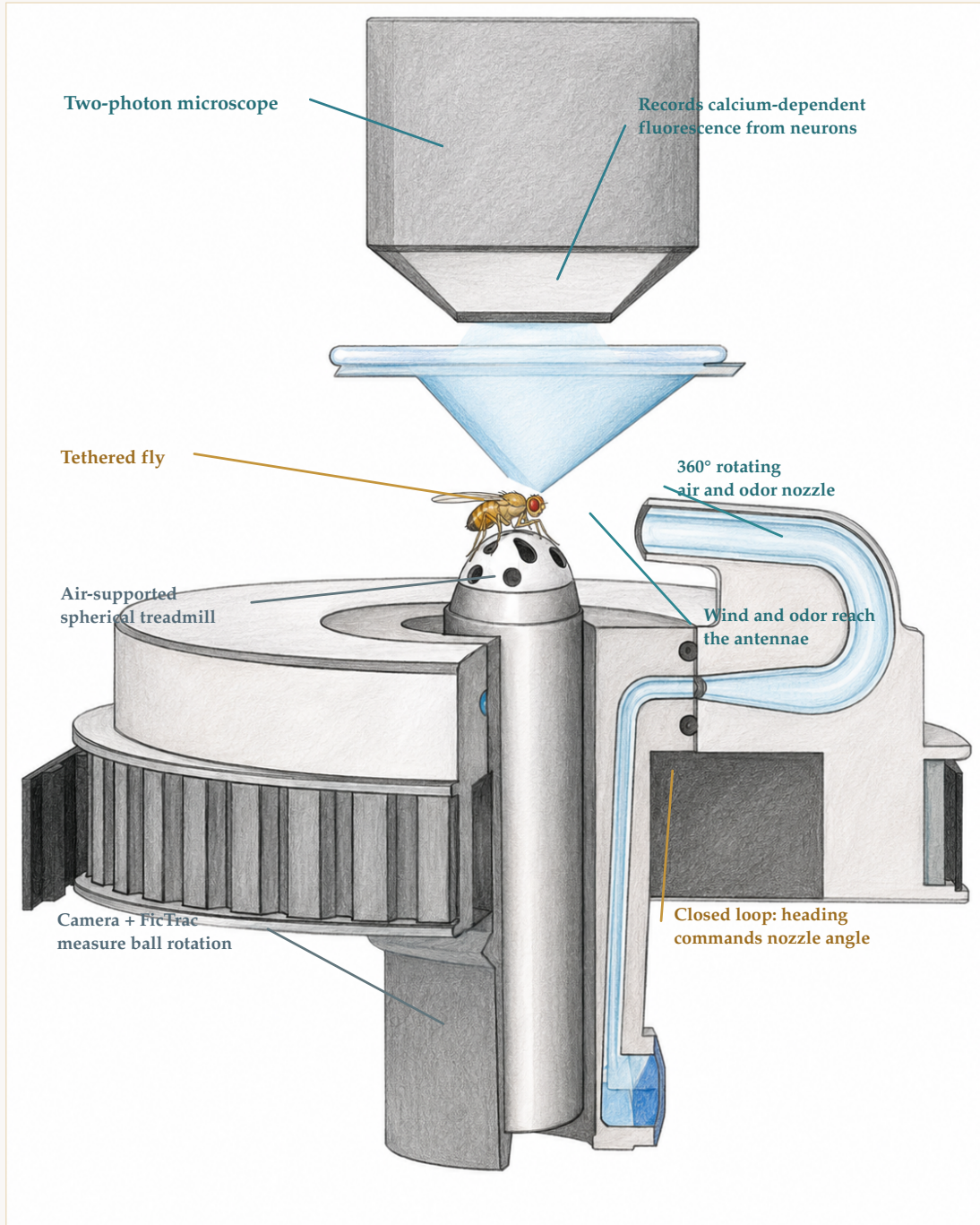
অদৃশ্য করডিরটি তরৈকিরছেলি সফটওয়্যার

গন্ধ প্লুম হলো বাতাসে বহন হওয়া গন্ধেরে চলমান অঞ্চল। বাইরে বাতাস বদলালে প্লুম বাঁক নেয়, ভেঙে যায় এবং আবার যুক্ত হয়। তাই কৌশলে প্রাণী ঠিক কৌশল মুহূর্তে কী গন্ধ পয়েছেলি তা জানা কঠিন।

গবষেকরো **বন্ধ-লুপ ভার্চুয়াল বাস্তবতা** ব্যবহার করে সমস্যাটিকে নিয়ন্ত্রণযোগ্য করছেন। মাছরি শরীর একটি হালকা, বাতাসে ভাসমান বলরে ওপর স্থিতিভাবে বাঁধা ছিল। মাছ হাঁটলে ক্যামরো প্রতি সকেনেডে প্রায় 60 বার বলরে ঘূর্ণন মাপত। সফটওয়্যার সেই ঘূর্ণনকে ভার্চুয়াল দ্বিমাত্রিক অবস্থান ও মুখের দকি হিসেবে অনুবাদ করত।

এই দকিরে তথ্য 360 ডিগ্রি ঘুরতে সক্ষম মেটরচালতি নেজল নিয়ন্ত্রণ করত। মাছরি ভার্চুয়াল শরীরে নাম বদলালে নেজল তার চারদকিরে ঘুরে বাতাসকে ভার্চুয়াল জগতেরে একটি স্থির দকিরে সঙ্গে মলিয়িরে রাখত। একই সঙ্গে ভর-প্রবাহ নিয়ন্ত্রক মাছরি ভার্চুয়াল অবস্থান অনুযায়ী অ্যান্টেনায় কতটা পরষিকার বাতাস বা আপলে-সাইডার-ভনিগোরেরে গন্ধ পট্টা হবে তা বদলাত। ফলে সফটওয়্যার-নির্ধারণিত সীমানা পরে লেই গন্ধ চালু বা বন্ধ হতো। এভাবে 50 মলিমিটার প্রশস্ত ও একটি মিটার দীর্ঘ কাল্পনিক করডির তরৈকি হয়, যদিও মাছ কখনো বল ছাড়েনি।

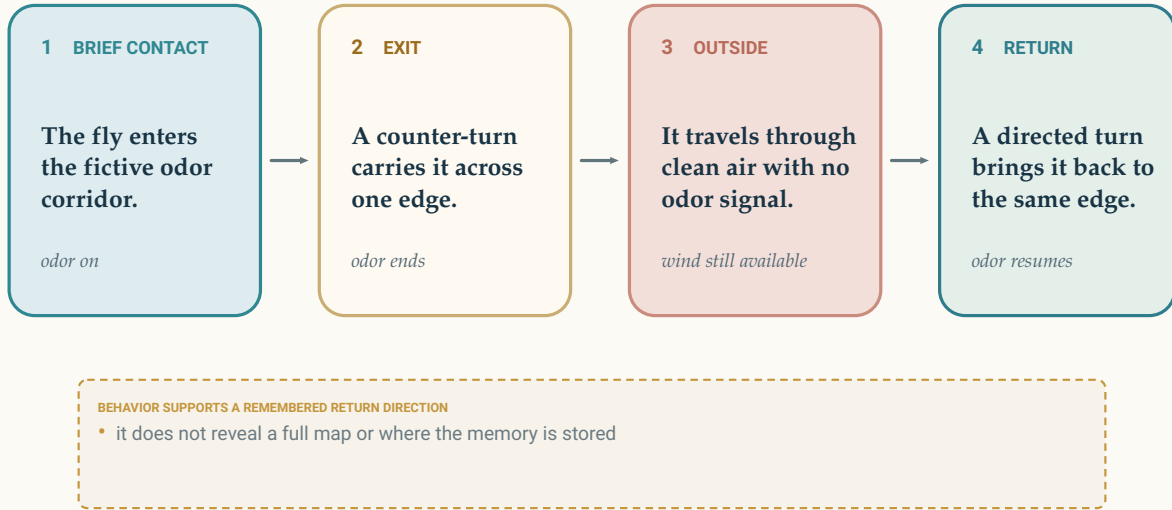
যন্ত্রটি প্রতিটি মুহূর্তে মাছরি ভার্চুয়াল অবস্থান, শরীরে নাম, গন্ধ চালু/বন্ধ থাকা এবং বায়ুপ্রবাহ নিয়ন্ত্রণ একসঙ্গে নথিবিদ্ধ করত। সেই তথ্য থেকে গবষেকরো গতপথ পুনর্গঠন করেন, প্রতিটি প্রবশে ও বেরিয়ে যাওয়ার মুহূর্ত চিহ্নিত করেন এবং মাছ কিত সরাসরি ফরিরে তা মাপনে। বাতাস বাইরেরে দকিনরিদেশে ইঙ্গিত দিয়েছিল; আর মাছরি নজিরে চলাচল ঠিক করছেলি সে কখন ভার্চুয়াল গন্ধ সীমানার কৌশল পাশে পট্টা হবে।



মাছটি বাতাসে ভাসমান বলরে ওপর বাঁধা ছিল। ক্যামেরা ও FicTrac বলরে ঘূর্ণনকে ভারচুয়াল চলাচল ও শরিরে নামের রূপ দিয়ে; সফটওয়্যার এরপর বায়ু ও গন্ধেরে নেজল ঘুরিয়ে ভারচুয়াল অবস্থান অনুযায়ী গন্ধ চালু বা বন্ধ করে। আলাদা স্নায়বিক-ইমজিং পরীক্ষায় মাছের ওপর থাকা দুই-ফোটন অণুবীক্ষণ যন্ত্র EPG বা FC2 নড়িরনরে ক্যালসিয়াম-নরিডরশীল ফ্লুরো সেন্স নথিবিদ্ধ করে, ফলে স্নায়বিক কার্যকলাপকে আচরণের সঙ্গে মিলিয়ে দেখা যায়। প্রতিটি আচরণগত পরীক্ষায় অণুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়নি।

One behavioral cycle at a virtual odor boundary

Wind remained the external direction cue; software switched odor with virtual position.



Original diagram - The Clean Paper - CC BY 4.0

নয়ন্ত্রতি পরীক্ষায় একটি মাছি অল্প সময় ভারুচ্যাল গন্ধ করডিরে ঢেঁকি, বরেয়ি যায়, গন্ধহীন বাতাসে কিছুটা দূর যায় এবং তারপর লক্ষ্যভদৌভাবে ফিরে আসে। আচরণটি মনে রাখা ফরোর দকিরে পক্ষ্যে প্রমাণ দয়ে; তথ্যটি কোথায সঞ্চিত থাকে তা দেখোয় না।

The Clean Paper CC BY 4.0

মূল **উল্লম্ব-করডির** পরীক্ষায় **40টি মাছি** বারবার গন্ধরে মধ্যে ঢুকছে, বপিরীত দকিে ঘুরে বরেয়িছে এবং একই প্রান্তে ফিরে এসছে। “Vertical” হলো গবেষণাপত্রে 0-ডগ্রি জ্যামিতির নাম: করডিরে দীর্ঘ অক্ষ বাতাসরে উজানে দকিরে সমান্তরাল ছিল। এর মানে যন্ত্রটি খাড়াভাবে দাঁড়ানো ছিল না।

লখেকরো এই আচরণকে **প্রান্ত অনুসরণ** বলছেন। একটি **পর্ব** হলো সীমানা দুবার অতিক্রম করার মাঝরে একটানা পর্ব: ভেতরে পর্ব শুরু হয় পর্বশে এবং শেষে হয় বরেয়ি আসায়; বাইরে পর্ব শুরু হয় বরেয়ি যাওয়ার পরে এবং শেষে হয় আবার ফিরে আসায়। মোট 755টি ভেতরে পর্ব একটি গন্ধ-সাক্ষ্য গড়ে **4.9 সেকেন্ড** স্থায়ী হয়। ফিরে আসার সময় সীমানা থেকে গড় দূরত্ব ছিল **10.4 মিলিমিটার**। 793টি পর্বরে 4%-এরও কম করডিরে একবোর বপিরীত প্রান্তে পট্টেছিল।

শেষে দুটি সংখ্যা পর্বরে, শত শত স্বাধীন মাছরি নয়। কারণ একটি মাছি অনেকগুলো পর্ব দতিে পারে।

ফরোগুলে শুধু স্থরি বাতাসরে উজানে প্রতবির্ত ছিল না

গবেষকরো আরও সরল ব্যাখ্যাগুলো পরীক্ষা করছেন।

প্রথম করডির ধরে মাছি বাতাসরে উজানে হাঁটলে কী ঘটবে, তা বদলানো হয়। ভারুচ্যাল উৎসরে দকিে গেলে গন্ধরে ঘনত্ব বাড়তে পারে, স্থরি থাকতে পারে বা কমতেও পারে। তনি ক্ষত্রেই মাছরি পথ কাছাকাছি ছিল। তাই “যদেকিে গন্ধ বাড়বে সদেকিে চল” ধরনরে সরল নয়িম এই যন্ত্রপাতিতে প্রান্ত অনুসরণ ব্যাখ্যা করতে পারে না।

এরপর করডিরে পাশরে ধারটকিে একটি গাউসীয় প্রোফাইলরে মতো ধীরে বদলানো হয়, যখনে ঘনত্ব হঠাৎ চালু/বন্ধ না হয়ে ক্রমে বদলায়। মাছিগুলো গন্ধ সবচেয়ে বেশি এমন কন্ডেরে কাছ নয়, বরং যখনে ঘনত্ব সবচেয়ে দ্রুত বদলাচ্ছে সেই পাশরে অংশে জমা হয়। অর্থাৎ এখান

গুরুত্বপূর্ণ ইঙ্গিত ছিল কার্যকর সীমানা চিহ্নিত করা পাশের পরিবর্তন, করডির ধরে উৎসরে দিকে গন্ধ বাড়তেই হবে এমন নয়।

এর মানে প্রকৃতিতে ঘনত্ব ঢাল কখনোই গুরুত্বপূর্ণ নয়—তা নয়। শুধু পরীক্ষিত অবস্থায় এই আচরণের জন্য উৎসরে দিকে গন্ধ বাড়ার দরকার ছিল না।

গবেষকরা করডিরে অভিমুখও বদলান। আলাদা দল উল্লেখ, 45-ডিগ্রি ও 90-ডিগ্রি করডির অনুসরণ করে; আরকেট দল এমন করডির পায় যা মাছিরে গলে পাশে সরে যায়। দলগুলো আর আকার ছিল যথাক্রমে 40, 21, 20 ও 24টি মাছ। জ্যামিতিবিদ্যালয়ে বাইরে হাঁটার পথও বদলছে। তাই “সবসময় বাতাসেরে উজানে ঘুরে যাও” ধরনের সাধারণ ন্যিম এই নমনীয়তা ব্যাখ্যা করে না।

এই বনিয়াসে দুই অ্যান্টেনায় গন্ধ পট্টেই হানে আর সময়ের পার্থক্য ছিল প্রায় দুই মলিসিকেনেড। বাতাসেরে সঙ্কে দুই পাশে সমান অপটে াজনেটেকি সক্রিয়করণ দলিও প্রান্ত-অনুসরণ-সদৃশ আচরণ তরৈকিরা গছে। **অপটে াজনেটেকিসে** আলো-সংবদনশীল প্রে টিনি ব্যবহার করে নির্বাচতি কেষেরে ক্রিয়াকলাপ বদলানো হয়। ফলটি ইঙ্গিত করে যে এই নির্দিষ্ট আচরণেরে জন্য বাম ও ডান অ্যান্টেনায় গন্ধ পট্টেই হানে আর ক্যুদর সময়পার্থক্য অপরহির্য ছিল না। তবে অন্য প্লুমে মুক্তভাবে চলা প্রাণীর ক্যেত্রে দুই পাশেরে তুলনা অপ্ৰাসঙ্কিকি—এমন দাবি এটিকিরে না।

একটি ভেক্টর পূর্ণ মানচিত্রেরে চয়ে ছে টি

ভেক্টর—এ দিক ও আকার—দুটোই থাকে। এখানে সংরক্ষতি উপযোগী তথ্যটি মূলত দিকসংক্রান্ত: প্লুম সীমানায় পট্টেই হাতে মাছিকি কোন দিকি ঘুরতে হবে? মাছি পুরে প্লুমেরে বনিয়াস বা তার ভেতরে নজিরে সঠিক অবস্থান মনে রাখে—এমন প্রমাণ গবেষণাটি পায়নি।

প্রথম লেখকরা বাস্তব মাছিরে চলাফেরার উপাদান এলোমেলো করে কৃত্রিম পথ বানান। দেখে চালনা দৈর্ঘ্য ও বাঁক কেষে এলোমেলোভাবে নিয়ে সেগুলো জোড়া হয়। কিছু কৃত্রিম চলনকারী শেষে পর্যন্ত গন্ধ সীমানায় ফিরে আসে, কিন্তু বাস্তব মাছিরে তুলনায় বেশি ঘেঁরে এবং কম সরাসরি পথে যায়। মাছিরে সাধারণ বাতাসেরে উজানে ঘেঁরার প্রবণতা যোগ করলেও ছোট, লক্ষ্যভদৌ ফরোগুলো পুনরুৎপাদতি হয়নি। অর্থাৎ একই চলাচলেরে এলোমেলো পুনর্মিশ্রণেরে চয়ে বাস্তব আচরণে বেশি দিকনির্দেশে ছিল।

এরপর গবেষকরা দুটি অবস্থাসহ একটি মডলে তরৈকিরে: **সীমানা ছড়ে যাওয়া** এবং **সীমানায় ফিরে আসা**। এগুলো গন্ধেরে ভেতর বা বাইরে প্রতটি মুহূর্তেরে স্থায়ী লবেলে নয়; চলার সময় বদলাতে পারে এমন বকিল্প দিকনিয়ন্ত্রণ ন্যিম।

প্রতটি সীমানা ছদেবনিন্দু মডেলকে মনে রাখার জন্য একটি দিক দিয়ে। বরে হওয়ার সময় “ছড়ে যাওয়া” পর্যায়ে ব্যবহৃত একটি দিক হালনাগাদ হয়। ঢোকার সময় আলাদা একটি ফিরে আসা দিক হালনাগাদ হয়—মোটামুটি, “সীমানা খুঁজে পাওয়ার সময় আমি এই দিকে চলছিলাম।” পরে ফরিতে গেলে সেই মনে রাখা দিক সম্মিলটেডে মাছিরে চলাচলকে সীমানার দিকে পক্ষপাত করে।

গবেষকরা 0-, 45- ও 90-ডিগ্রি করডিরে গতপথে মডলেটি মানানসই করেন। সারাংশ-তুলনায় 72টি বাস্তব মাছি ও 75টি সম্মিলশেন কাছাকাছি পথ পরিসংখ্যান দিয়েছে। প্রবশেরে সময় শোখো ফিরে আসা দিক বাদ দিলে সব করডিরে অভিমুখে অনুসরণ কম দক্ষ হয়। এতে প্রবশে-দিক স্মৃতি উপকারী—এই ধারণা সমর্থতি হয়; মাছিরে মস্তিষ্ক আকস্মিকভাবে মডলেরে সমীকরণ চালায়, তা প্রমাণ হয় না।

এই গবেষণায় “স্মৃতি” বলতে কী বোঝানো হয়েছে?

গবেষকরা মাছিরে মস্তিষ্ক থেকে সংরক্ষতি কোনে তীর সরাসরি পড়েননি। “দিকনির্দেশক স্মৃতি” হলো আচরণ, একটি মডলে এবং স্নায়বিক পরিমাণ থেকে করা অনুমতি সিদ্ধান্ত। মডলেটি দেখায়, অল্প কয়েকটি বদলাতে থাকা দিক গুরুত্বপূর্ণ পথ পরিসংখ্যান পুনরুৎপাদন করতে পারে। এতে প্রমাণ হয় না যে মাছি আকস্মিকভাবে সমীকরণগুলো বাস্তবায়ন করে, বা কোনে একটি নামকরা নিউরন দলই স্মৃতির সংরক্ষণ স্থান।

বপিরীত অভিমুখেরে 45-ডিগ্রি অংশেরে অতিরিক্ত অভিজ্ঞতা 10টি মাছিরে পরেরে আচরণ বদলছে; তুলনায় ছিল 29টি মডলে সম্মিলশেন। এতে দিকভিত্তিক ব্যাখ্যাটিকে বেল পরে বানানো বর্ণনার চয়ে বেশি নির্দিষ্ট হয়, যদিও এটি এখনও মডলেনিভর ব্যাখ্যা।

মুখরে দকিরে রফোরনেস এবং বর্তমান লক্ষ্য

এরপর গবেষণাটি মাছরি **কনেদ্রীয় জটিল**-এর কার্যকলাপ মাপে ও ব্যাহত করে। এটি দিকনির্ণয় জড়তি একটি মস্তিষ্ক অঞ্চল।

ভিন্ন কাজের দুটি সংকেত

EPG ও FC2 হলো কনেদ্রীয় জটিলের দুটি নিউরন জনসংখ্যার নাম। EPG কার্যকলাপ দিকনির্দেশক পাঠের মতো: বাতাসের তুলনায় মাছির বর্তমানে কোন দিকে মুখ করে আছে তা অনুসরণ করে। FC2 কার্যকলাপ মাছির কোন দিকে যেতে চাইছে—সেই লক্ষ্যদিকের সঙ্কেত সম্বন্ধে। নচিরে দিকনিয়ন্ত্রণ সার্কটি বর্তমান শরিরে নামের সঙ্কেত ওই লক্ষ্য তুলনা করতে পারে। গবেষণাটি দুই জনসংখ্যাই পরীক্ষা করেছে; কোনো একটি পুরো স্মৃতি একা সংরক্ষণ করে তা দেখায়নি।

EPG নিউরন একটি শরিরে নাম সংকেত বহন করে: তাদের কার্যকলাপ ধরন বাইরের ইঙ্গিতের তুলনায় মাছির কোন দিকে মুখ করে আছে তা অনুসরণ করে। স্নায়বিক কার্যকলাপের পরে কক্ষ আলো কী রঙিআউট ক্যালসিয়াম ইমজিং ব্যবহার করে গবেষকেরা দেখেছেন, প্রান্ত অনুসরণের সময় EPG কার্যকলাপ ধাপ বাতাসের তুলনায় শরিরে নাম অনুসরণ করে। এই বিশ্লেষণে 9টি মাছরি 16টি পরীক্ষা ছিল।

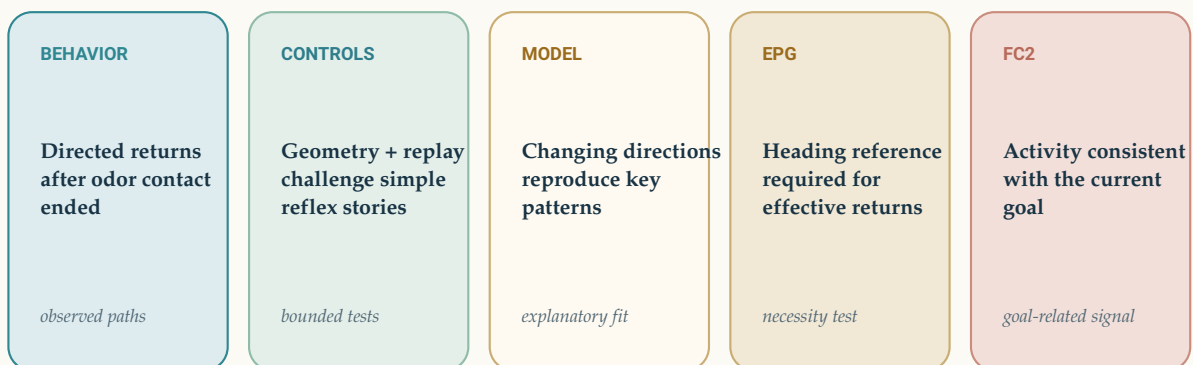
EPG নিউরন দমন করতে গবেষকেরা সেগুলোর **GtACR1** প্রকাশ ঘটান—এটি সবুজ আলোয় চালু হওয়া অ্যানায়ন চ্যানেল। পুরো পরীক্ষা জুড়ে একটি LED জ্বলছিল, চ্যানেল সক্রিয় করে নিরবচিতি নিউরন দমন করেছে; একই আলো জনিগত-নিয়ন্ত্রণ মাছির আচরণ নষ্ট করেনি।

এভাবে EPG নিউরন দমন করলে 12টি পরীক্ষামূলক মাছির 6টি জনিগত-নিয়ন্ত্রণ মাছির তুলনায় কম কার্যকর লক্ষ্যভেদী ফরোর পথ নিয়েছে। সীমিত সিদ্ধান্তটি হলো, EPG কার্যকলাপ যে শরিরে নাম রফোরনেস বহন করে তা পরীক্ষিত অবস্থায় কার্যকর প্রান্ত অনুসরণের জন্য দরকার ছিল। EPG নিউরন একই সীমানা দিক সংরক্ষণ করে—এটি তার প্রমাণ নয়।

FC2 নিউরন-এর সম্বন্ধে আলাদা। জনসংখ্যা কার্যকলাপ বর্তমান দিকনির্ণয় লক্ষ্যের সঙ্কেত সম্বন্ধে ছিল এবং পরীক্ষায় বাঁক নেওয়ার আগে প্লুম সীমানার দিকে নির্দেশ করত। ইমজিংয়ে 6টি মাছির ছিল; নিষ্ক্রিয়করণ তুলনায় বিশ্লেষণ অনুযায়ী 9 থেকে 14টি মাছির দল ব্যবহৃত হয়েছে। নিষ্ক্রিয়করণ প্রান্ত অনুসরণ দুর্বল করেছে।

Five evidence layers, five different claims

The cards converge; they are not a directly observed neural chain.



SUPPORTED: COMPACT DIRECTIONAL MEMORY IN THIS CONTROLLED ASSAY

- not shown: a full map, a universal strategy or the cellular storage site

আচরণ, প্লুম জ্যামতিবিদলানো, ফটি-করা মডলে এবং দুটি স্নায়বিক হস্তক্ষেপে দকিস্মৃতি-ভিত্তিক ব্যাখ্যার আলাদা অংশকে সমর্থন করে। একসঙ্গে এগুলো এই নিয়ন্ত্রিত পরীক্ষায় একটি সংক্ষিপ্ত লক্ষ্য দকিরে পক্ষে প্রমাণ দেয়; পূর্ণ মানচিত্র বা প্রমাণিত কৌশলীয় সংরক্ষণ স্থানকে নয়।

The Clean Paper CC BY 4.0

এটি বিভিন্ন দকি থেকে মলো প্রমাণ, কারণত সম্পর্ককে সম্পূর্ণ শৃঙ্খলে সরাসরি ছবি নয়। EPG কার্যকলাপ একটি প্রয়োজনীয় শরিতে নাম রফোরেন্স দিয়েছে। FC2 কার্যকলাপ লক্ষ্য দকিরে সঙ্গে সামঞ্জস্যপূর্ণ ছিল এবং কার্যকর আচরণের জন্য দরকার ছিল। পরীক্ষাগুলো একক কনোনে। স্মৃতি “এনগ্রাম” খুঁজে পায়নি বা FC2 সন্যাপসহে দকিটি শারীরিকভাবে সঞ্চিত থাকে তা প্রমাণ করেনি।

মানুষের মাপে একটি মনে টিউমি তুলনা হিসেবে ভাবুন: স্থির বাতাসের মধ্যে সরু কুয়াশার স্তর থেকে বেরিয়ে এলেন। কম্পাস আপনাকে বলে আপনাকে কনোনে দকি মুখ করে আছেন; কনিতু কুয়াশায় ফরিতে হলে তার পুনরতর দকি মনে রাখা একটি দকিনর্দিশেও দরকার। বর্তমান শরিতে নামের সঙ্গে কাঙ্ক্ষিত দকিনর্দিশে তুলনা করলে কনোনে দকি ঘুরতে হবে বোঝা যায়। এখানে EPG ও FC2 সংকতের জন্য প্রস্তাবিত কাজের বিভিন্নটি এমন। এটি বোঝানোর উপমা; মানুষ একই কৌশল বা অ্যালগরিদম ব্যবহার করে তার প্রমাণ নয়।

স্মৃতিটি শুধু গন্ধের সময়ের ওপর নয়, কাজের সঙ্গে সম্পর্কে ওপর নির্ভর করছে

পুনরাবর্তিত পরীক্ষায় মাছগুলো আগের মতো একই সময়করমে গন্ধ পয়েছে, কনিতু সময়বিন্যাস তাদের বর্তমান কাজের সঙ্গে আর যুক্ত ছিল না। পুনরাবর্তিত পরবর্তে সঙ্গে শেখা দকিনর্দিশেক পক্ষপাত দুর্বল হয়েছে। এতে একটি **আচরণ-শিক্ষণমূলক**, ক্রিয়া-সম্পর্কিত হালনাগাদের পক্ষে প্রমাণ মলে: শুধু নষিক্রিয়াভাবে একই গন্ধ ক্রম পাওয়া নয়, গন্ধ ও মাছের চলাচলের সম্পর্কটিই গুরুত্বপূর্ণ ছিল।

এই বিশ্লেষণগুলোয় হর বদলে যায়। Extended তথ্য প্যানলে তুলনা অনুযায়ী 8 বা 9টি মাছ আছে; ক্রমিক-পরবর্তে ধারায় 8টি; গতপথ প্যানলে অন্তত 10টি কার্যকর প্রবশে দরকার; আর জোড়া মডলে প্যানলে একই প্রবশে সীমা পূরণ করা 21টি সিমুলেটেডে গতপথ আছে। এগুলো আটটি মাছের একটি সম্মিলিত নমুনা নয়।

আরও অনিয়মিত প্লুম উপকারী পরীক্ষা ছিল, কনিতু স্টেডি ভার্চুয়াল

গবেষকেরা আগে নথিবিদ্ধ আরও অনিয়মিত একটি প্লুম পুনরাবর্তিত করছেন। বাঁধা মাছগুলো যাতে যথেষ্টবার স্টেরি মুখে মুখ হিত পাবে, স্থান ও সময়ে প্লুমটিকে পাঁচগুণ বড় করা হয়। **12টির মধ্যে 10টি মাছ** উৎসের 50 ভার্চুয়াল মলিমিটির মধ্যে পড়ে যায়।

এটি খোলা বাতাসে বাস্তব উৎস খুঁজে পাওয়া 10টি মাছ নয়। এটি নিয়ন্ত্রিতভাবে পুনরাবর্তিত করা প্রাকৃতিকধর্মী প্লুমের কর্মক্ষমতা।

প্রতিটি গতশীল প্লুম ধরনের জন্য মডলে 2,000টি গতপথ তৈরি করে। বড়-করা প্লুমের তুলনায় ওই 2,000টির মধ্যে 1,850টি বিশ্লেষণে রাখা হয়, কার্যকর প্রবশে থাকার শর্ত এবং উৎসের খুব কাছে শুরু করা গতপথ বাদ দিয়ে। উৎসের কাছে স্মৃতি বেশি সাহায্য করেছে, যখন পরপর সাক্ষাৎর দকিনর্দিশেক কাঠামো বেশি সুসংগত ছিল; আরও অশান্ত বায়ুর নম্নপ্রবাহ অঞ্চলে সাহায্য কম ছিল।

এই শর্তটি ফলরে অংশ। সংক্ষিপ্ত দকি তখনই সাহায্য করতে পারে, যখন পরবিশেষে যথেষ্ট সুসংগত থাকে যাতে আগের সাক্ষাৎ পরেরটির জন্য উপযোগী তথ্য বহন করে।

গবেষণাটীকী দেখোয় না

- মাছ একটা পূর্ণ মানচিত্র বানায়—এটা দেখোয় না।
- পরবর্তন না করা স্বাভাবিক প্লুমে মুক্ত উড্ডয়ন দেখোয় না।
- সব গন্ধ-নির্দেশিত দিকনির্ণয় এই কঠোর ব্যবহার করে—এটা প্রতিষ্ঠা করে না।
- EPG বা FC2 নিউরনই স্মৃতির একমাত্র ভিত্তি সংরক্ষণ স্থান—এটা দেখোয় না।
- ফটি-করা মডলেই মাছের আকর্ষক জৈবিক অ্যালগরিদম—এটা দেখোয় না।
- ফলটি সরাসরি মানব দিকনির্ণয়ে সাধারণীকরণ করে না।

গবেষণাটি সবচেয়ে শক্ত যখনে দাবি সবচেয়ে নরিদ্রিষ্ট। বন্ধ-লুপ নিয়ন্ত্রণ গবেষকদের প্রতিটি গন্ধ-সাক্ষাৎ নথিভুক্তভাবে নিয়ন্ত্রণ করতে দিয়েছে। জ্যামিতিবিদ, পুনরাবৃত্তি, মডেলিং, ক্যালসিয়াম ইমেজিং ও নিক্রিয়িকরণ একই ব্যাখ্যার বিভিন্ন অংশ পরীক্ষা করেছে। তবে আচরণগত, ইমেজিং ও নিক্রিয়িকরণ কঠোর আলোচনা ছিল; নমুনা আকার আগে থেকে নির্ধারিত ছিল না; তথ্য সংগ্রহ ও বিশ্লেষণ এলে মিলে ভাবে বণ্টন বা ব্লাইন্ড করা হয়নি; এবং বাঁধা মাছের 10%-এর কম অভ্যস্ততা, প্রতিক্রিয়া বা অনুসরণ সমস্যায় বাদ পড়েছে।

এই সীমাগুলো ঘটনাটিকে বাতিল করে না। বরং কঠোর ফলটি প্রযোজ্য, তা নির্ধারণ করে।

সংক্ষিপ্ত সারাংশ

ভারুচ্যাল গন্ধ করডিরে মধ্যে বাঁধা ফলমাছ গন্ধ ছড়ে পরিস্কার বাতাসে যাওয়ার পরও বারবার সীমানায় ফিরে এসেছে। ঘনত্ব ও করডির জ্যামিতি বদলানো, ফটি-করা অবস্থাবদলকারী মডলে, স্নায়বিক ইমেজিং ও অপটোজেনোটিক নিক্রিয়িকরণ—সব মিলিয়ে এমন একটা ব্যাখ্যাকে সমর্থন করে যখনে মাছ পূর্ণ মানচিত্র নয়, দিকের সংক্ষিপ্ত স্মৃতি ব্যবহার করে। EPG নিউরন প্রযোজনীয় শরিরে নাম রফোরেন্স দিয়েছে; FC2 কার্যকলাপ বর্তমান লক্ষ্য দিকের সঙ্গমে সামঞ্জস্যপূর্ণ ছিল। ফলটিনিয়ন্ত্রিত হাঁটার পরীক্ষার মধ্যে সীমাবদ্ধ; স্মৃতি কখন কখন জমা থাকে বা মুক্ত স্বাভাবিক উড্ডয়নে একই গণনা হয়—তা দেখোয় না।

সরাসরি যাচাই

গবেষণাপত্রটীকী দেখোয়: বন্ধ-লুপ বাঁধা পরীক্ষায় মাছ এমন ভারুচ্যাল গন্ধ সীমানায় লক্ষ্যভেদীভাবে ফিরেছে, যা তখন আর সরাসরি অনুভব করতে পারছিল না। একাধিক আচরণগত নিয়ন্ত্রণ, মডেলিং ও স্নায়বিক হস্তক্ষেপে ভেক্টর-ভিত্তিক কঠোরকে সমর্থন করে।

কী অনুমতি সিদ্ধান্ত: আচরণটি সংক্ষিপ্ত দিকনির্দেশক স্মৃতি ব্যবহার করে এবং FC2 জনসংখ্যা কার্যকলাপ বর্তমান দিকনির্ণয় লক্ষ্য প্রতিনিধিত্ব করে। স্মৃতি বিষয়বস্তু সরাসরি পড়া হয়নি।

কী দেখোয় না: পূর্ণ মানসিক মানচিত্র, সর্বজনীন ঘ্রাণসংক্রান্ত কঠোর, স্বাভাবিক প্লুমে মুক্ত উড়ানে একই আচরণ, স্মৃতি সংশ্লিষ্ট একক স্থান বা মানুষের সমতুল্য কখনো প্রক্রিয়া।

প্রধান সীমাবদ্ধতা: একটা প্রজাতি ও নিয়ন্ত্রিত যন্ত্রপাতি; পরীক্ষাভেদে আলোচনা মাছের কঠোর ও বিশ্লেষণ একক; পরীক্ষ ক্যালসিয়াম সংকেত; আবশ্যিকতা পরীক্ষা প্রাপ্যতা প্রমাণ করে না; এবং প্রাকৃতিকধর্মী প্লুম পুনরাবৃত্তিক্রিয়া ও আকারে বড় করা হয়েছিল।

সাধারণ পাঠকের কতটা আস্থা রাখা উচিত? এই যন্ত্রপাতিতে লক্ষ্যভেদী ফরোর ঘটনা বাস্তব এবং শরিরে নাম ও লক্ষ্য-সম্পর্কিত কন্দ্ৰীয়-জটিল কার্যকলাপ গুরুত্বপূর্ণ—এ বিষয়ে উচ্চ আস্থা। সংক্ষিপ্ত ব্যাখ্যা হিসেবে মডেলে মাঝারি আস্থা। খোলা বাতাসে অপরিস্রুতিভাবে একই ফল ঘটবে বা এটা পূর্ণ মানচিত্র—এমন দাবিতে কম আস্থা।

উৎস

Siliciano et al., A vector-based strategy for olfactory navigation in *Drosophila*, *Nature* (2026)
<https://doi.org/10.1038/s41586-026-10827-7>

Siliciano et al., data archive for A vector-based strategy for olfactory navigation in *Drosophila*
<https://doi.org/10.5281/zenodo.20751812>

Ruta Laboratory, Edge-Tracking-Model
<https://github.com/rutalaboratory/Edge-Tracking-Model>