The Clean Paper

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

मक्खी गंध खो सकती है और फिर भी वापस मुड़ सकती है। virtual plume में remembered direction ने मदद की

tethered fruit flies clean air में जाने के बाद भी बार-बार odor boundary पर लौटीं। behavior, modeling और neural perturbations full map की जगह compact direction memory support करते हैं। result controlled virtual-reality assay से है और free natural flight में same strategy अभी नहीं दिखता।

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

मक्खीगंध खोदेने के बाद भीउसकीओर वापस मुड़ सकतीहै

मक्खीगंध कोपीछे छोड़ चुकीथी।

वह गंध-रहित हवामें चलतीरही— कभीकभीकई दसयोंसेकंड और सैकड़ोंआभासीमिलीमीटर तक। फिर वह उस सीमाकी ओर मुड़ीजिसे पहले पार कर चुकीथीऔर गंध कोदोबारापालिया। उस क्षण गंध स्वयं उसे लौटने कीदिशानहींबतासकतीथी।

यहीफल-मक्खियोंके नेविगेशन पर Nature में प्रकाशित अध्ययन कामुख्य अवलोकन है। शोधकर्ताओं कातर्क है कि मक्खियोंने दिशाकीएक संक्षिप्त स्मृति इस्तेमाल की पूरे गंध-प्लूम कानक्शानहीं, तय कीगई दूरीकीस्मृति नहीं, बल्कि ऐसीसीमाकीयाद रखीहुई दिशाजिसे वे उस समय महसूस नहींकर सकतीथीं।

नतीजाउल्लेखनीय है क्योंकि यह दिखाताहै कि बहुत कम संग्रहीत जानकारीभीपर्याप्त होसकतीहै। लेकिन इसे बढ़ाचढ़ाकर कहनाआसान है। ये मक्खियाँप्रकृतिकि वातावरण में स्वतंत्र रूप से नहींउड़ रहीथीं। वे हवापर तैरतीगेंद के ऊपर बँधीहुई थीं और बहुत नियंत्रित आभासीदुनियामें चल रहीथीं। अध्ययन इस उपकरण में वेक्टर-आधारित रणनीतिका समर्थन करता है; यह नहींदिखाताकि मक्खियाँमानसिक नक्शे बनातीहैं, कि इससे जानवरोंके गंध कापीछाकरने के हर तरीके कीव्याख्याहो जातीहै, यास्मृति भौतिक रूप से किन कोशिकाओं में संग्रहित है।

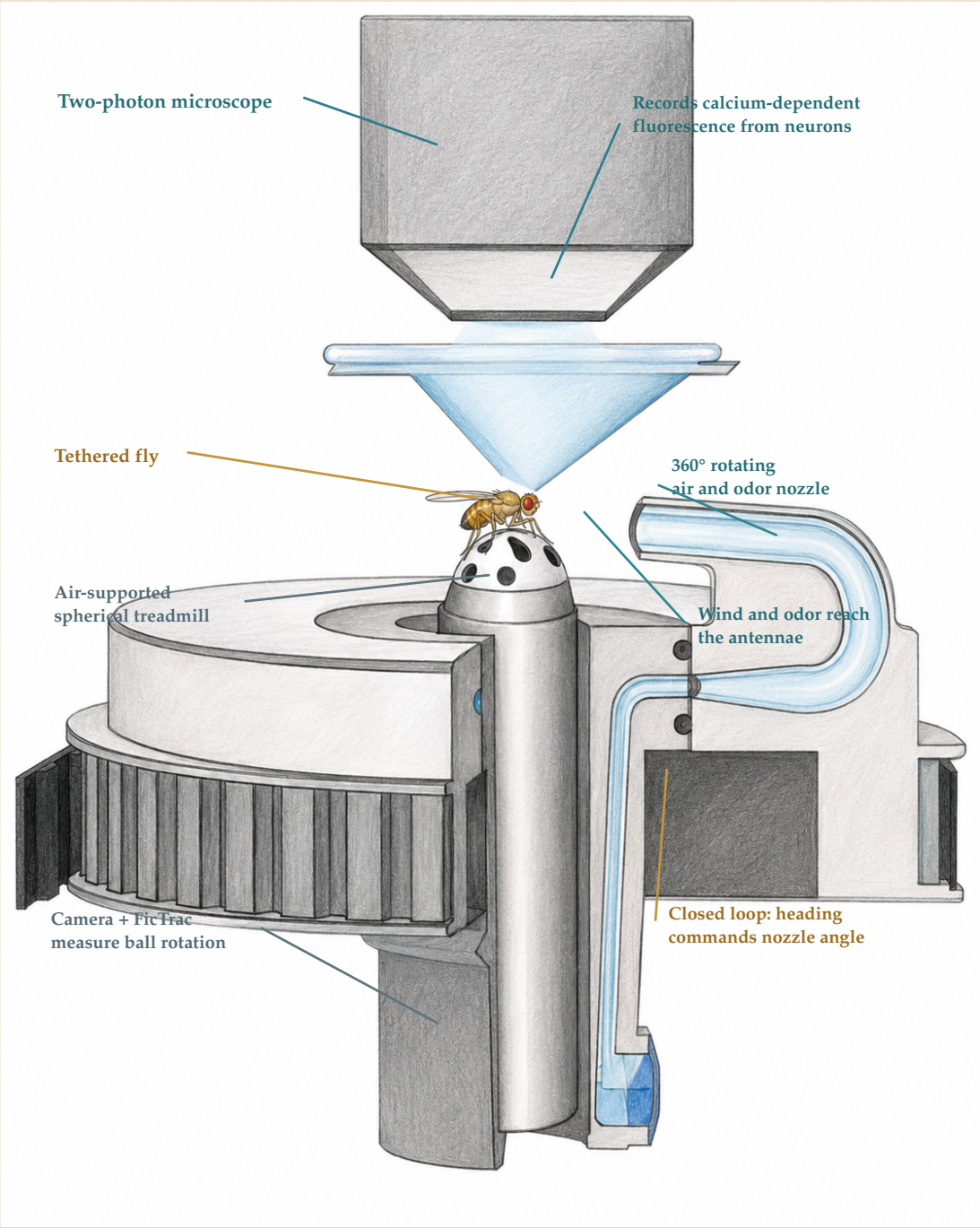
अदृश्य गलियारासॉफ़्टवेयर ने बनायाथा

गंध-प्लूम हवामें बहतागंध काक्षेत्र है। खुले वातावरण में हवाबदलने पर प्लूम मुड़ सकताहै, टूट सकताहै और फिर जुड़ सकताहै। इसलिए यह जानना कठिन होताहै कि किसीजानवर ने हर क्षण ठीक क्यासूँघा।

शोधकर्ताओं ने समस्याको**क्लोज़्ड-लूप आभासीवास्तविकता**से नियंत्रित किया। मक्खीके शरीर कोहल्की हवापर तैरती गेंद के ऊपर एक जगह बाँध दियागया। मक्खीचलतीतोकैमरागेंद काघूर्णन प्रति सेकंड लगभग 60 बार मापता। सॉफ़्टवेयर उस घूर्णन कोआभासीद्वि-आयामीस्थिति और दिशामें बदलता।

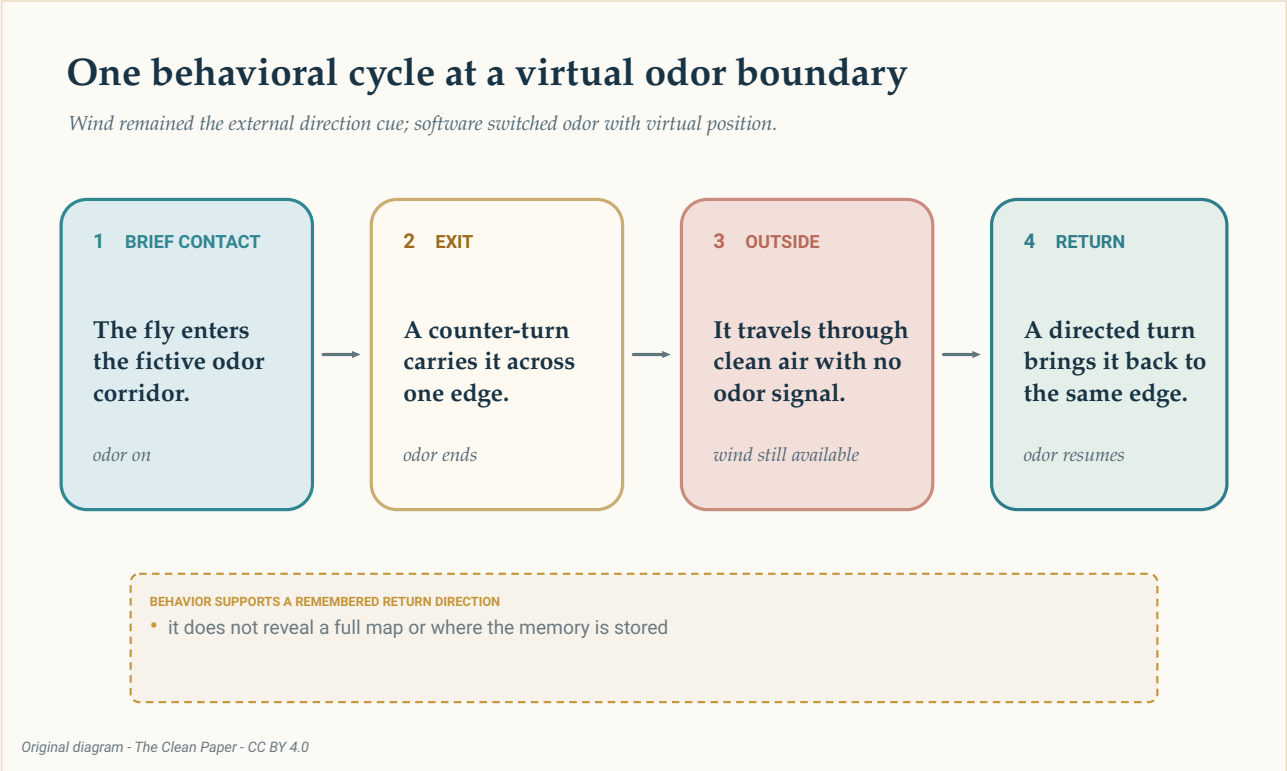
यह दिशामोटर से चलने वालीनोज़ल कोनियंत्रित करतीथी, जो360 डिग्रीघूम सकतीथी। मक्खीकीआभासीदिशाबदलने पर नोज़ल उसके चारोंओर घूमती, ताकि आभासीदुनियामें हवाकीदिशास्थिर महसूस हो। साथ हीद्रव्यमान-प्रवाह नियंत्रक मक्खी कीआभासीस्थिति के अनुसार उसके एंटीनातक स्वच्छ हवायाऐप्पल-साइडर-विनेगर कीगंध कीमात्राबदलते। सॉफ़्टवेयर से तय सीमापार करते हीगंध चालू याबंद होजाती, जिससे 50 मिलिमीटर चौड़ाऔर एक मीटर लंबाकाल्पनिक गलियाराबनता, जबकि असल में मक्खीगेंद से कहींनहींजाती।

उपकरण हर समय-बिंदु पर मक्खीकीआभासीस्थिति, दिशा, गंध कीस्थिति और वायु-प्रवाह नियंत्रण कासमकालिक रिकॉर्ड बनाताथा। शोधकर्ताओं ने उससे पथ दोबाराबनाए, हर प्रवेश और बाहर निकलने के बिंदु कोचिह्नित कियाऔर मापा कि वापसीकितनीसीधीथी। हवाएक बाहरीदिशात्मक संकेत देतीथी, मक्खीकीअपनीगति तय करतीथीकि आभासीगंध-सीमाका सामनाकिस ओर से और कब हुआ।



मक्खीहवापर तैरतीगेंद के ऊपर बँधीहुई रही। कैमराऔर FicTrac ने गेंद के घूर्णन कोआभासीगति और दिशामें बदला; सॉफ़्टवेयर ने फिर हवाऔर गंध देने वालीनोज़ल घुमाई और आभासीस्थिति के अनुसार गंध चालू याबंद की। अलग न्यूरल-इमेजिंग ट्रायल में मक्खी के ऊपर दोफ़ोटॉन microscope ने EPG याFC2 न्यूरॉनोंकीकैल्शियम-निर्भर फ्लोरेसेंस दर्ज की, जिससे न्यूरल गतिविधि को व्यवहार के साथ मिलायाजासका। हर व्यवहारिक ट्रायल में microscope जरूरीनहींथा।

The Clean Paper CC BY 4.0



नियंत्रित परीक्षण में मक्खीथोड़ीदेर आभासीगंध-गलियारे में गई, बहर निकली गंध-रहित हवामें चलीऔर फिर निर्देशित ढंग से वापस लौटी। व्यवहार यह रखीहुई वापसीदिशाकासमर्थन करताहै; यह नहींबतताकि वह जानवरीकहाँसंग्रहित है।

The Clean Paper CC BY 4.0

मुख्य **ऊर्ध्ववायर-गलियारा**प्रयोग में 40 **मक्खियाँ**बार-बार गंध में गईं, विपरीत दिशामें मुड़कर बहर निकलीऔर उसीकिनारे पर लौटीं। “ऊर्ध्ववायर” शोधपत्र में 0-डिग्रीजयमिति कानाम है: गलियारे कीलंबीधुरीअपवर्ति दिशाके समानांतर थी। इसका अर्थ यह नहींकि उपकरण खड़ाथा।

लेखक इस पैटर्न को**किनारा-रैकिंग** कहते हैं। **Bout** दोबार सीमापार करने के बीच कीलगातार अवधि है: भीतर का bout प्रवेश से बहर निकलने तक, और बहर का bout बहर निकलने से मक्खीके लौटने तक। 755 भीतर के bouts में औसत प्रवास 4.9 सेकंड रहा। वापसीके दौरान सीमासे औसत दूरी10.4 मिलिमीटर थी। 793 bouts में 4% से कम बार मक्खीगलियारे के विपरीत किनारे तक पूरीतरह पहुँची।

ये आखिरीदोसंख्याएँ bouts कावर्णन करतीहैं, सैकड़ोंस्वतंत्र मक्खियोंकानहीं। यह फर्क महत्वपूर्ण है क्योंकि एक ही जानवर कई bouts दे सकताहै।

वापसीकेवल स्थिर अपवर्ति प्रतिवर्त नहींथी

कई प्रयोगोंने सरल व्याख्याओं कोपरखा।

पहले शोधकर्ताओं ने बदलाकि मक्खीअपवर्ति चलते समय गलियाराकीलंबाई के साथ क्याअनुभव करतीहै। गंध आभासी स्रोत कीओर अधिक मजबूत होसकतीथी, स्थिर रह सकतीथीयाकमजोर होसकतीथी। तीनोंस्थितियोंमें मक्खियोंने मिलते-जुलते रास्ते बनाए। इसलिए “जहाँगंध अधिक मजबूत होतीजाए, उसीतरफ चलते रहो” जैसासरल नियम इस उपकरण में किनारा-रैकिंग नहींसमझासकता।

फिर गलियारे की **बगल की ओर** सीमा को Gaussian profile में मुलायम किया गया, जहाँ संद्रता अचानक बदलने के बजाय धीरे-धीरे बदलती थी। मक्खियाँ उस किनारे के पास जमा हुईं जहाँ संद्रता सबसे तेजी से बदल रही थी, केंद्र पर नहीं जहाँ गंध सबसे मजबूत थी। प्रासंगिक संकेत बगल की ओर होने वाला बदलाव था, जो प्रभावी सीमा को चिह्नित करता था, गलियारे की लंबाई के साथ स्रोत की ओर संद्रता बढ़ना जरूरी नहीं था।

इसका अर्थ यह नहीं कि प्राकृतिक परिस्थितियों में संद्रता ढाल कभी मायने नहीं रखती। इसका मतलब केवल इतना है कि यहाँ परखी गई परिस्थितियों में इस व्यवहार के लिए स्रोत की ओर संद्रता बढ़ना जरूरी नहीं था।

शोधकर्ताओं ने गलियारे का अभिविन्यास भी बदला। अलग समूहों ने ऊर्ध्वाधर, 45-डिग्री और 90-डिग्री गलियारों को ट्रैक किया और एक समूह ने ऐसे गलियारे का सामना किया जो बहर निकलने के बाद बगल की ओर खिसक जाते थे। समूहों में क्रमशः 40, 21, 20 और 24 मक्खियाँ थीं। ज्यामिति के साथ बहर के रास्ते बदल गए। “हमेशा अपवाही मुड़ो” जैसा सामान्य नियम इस लचीलेपन को नहीं समझाता।

इस व्यवस्था में गंध दो एंटीनाओं तक लगभग दो मिलीसेकंड के भीतर पहुँची। द्विपक्षीय ऑप्टोजेनेटिक सक्रियण को हवा के साथ जोड़ने से किनारा-ट्रैकिंग जैसा पैटर्न दोबारा बना। Optogenetics प्रकाश-संवेदी प्रोटीनों के जरिए चुनी हुई कोशिकाओं की गतिविधि बदलती है। यहाँ नतीजा सुझाता है कि इस व्यवहार के लिए बाएँ और दाएँ एंटीनाओं तक गंध पहुँचने के समय का अंतर जरूरी नहीं था। इससे स्वतंत्र रूप से चलने वाले जानवरों या दूसरे प्लूम में द्विपक्षीय तुलना अप्रासंगिक नहीं हो जाती।

वेक्टर नक्शे से छोटा होता है

वेक्टर में दिशा और परिमाण दोनों होते हैं। यहाँ उपयोगी संग्रहीत जानकारी मुख्यतः दिशात्मक थी। प्लूम सीमा तक पहुँचने के लिए मक्खी को किस तरफ मुड़ना चाहिए? अध्ययन को ऐसा साक्ष्य नहीं मिला कि मक्खी प्लूम की पूरी रूपरेखा या उसमें अपनी स्थिति संग्रहित करती थी।

लेखकों ने पहले वास्तविक मक्खियों की गति के घटकों को फेरबदल कर कृत्रिम रास्ते बनाए। देखी गई दौड़ की लंबाइयों और मोड़ के कोणों को यादृच्छिक तरीके से चुनकर जोड़ा गया। कुछ कृत्रिम चलने वाले आखिरकार गंध-सीमा तक पहुँच गए, लेकिन वास्तविक मक्खियों से ज्यादा भटके और कम सीधे रास्ते लिए। मक्खियों की सामान्य अपवाही मुड़ने की प्रवृत्ति जोड़ने पर भी छोटी, निर्देशित वापसी दोबारा नहीं बनी। इसलिए वास्तविक व्यवहार में उन्हीं गतियों के यादृच्छिक फेरबदल से अधिक दिशात्मक जानकारी थी।

फिर शोधकर्ताओं ने दो-अवस्था वाला मॉडल बनाया: **सीमा छोड़ना** और **सीमा पर लौटना**। ये अवस्थाएँ हर क्षण भीतर या बहर होने के लेबल नहीं थीं; वे दो वैकल्पिक दिशा-नियंत्रण नियम थीं, जिनके बीच मक्खी की गति के साथ बदलाव हो सकता था।

हर बार सीमा पार करने पर मॉडल एक दिशा याद रखता था। बहर निकलते समय वह सीमा छोड़ने में इस्तेमाल दिशा को अद्यतन करता। प्रवेश पर एक अलग वापसी-दिशा अद्यतन होती। मोटे तौर पर, “जब मुझे सीमा मिली, मैं इस दिशा में चल रही थी।” बहर की वापसी में याद रखी हुई दिशा नकली मक्खी को किनारे की ओर मोड़ती।

शोधकर्ताओं ने मॉडल को 0-, 45- और 90-डिग्री गलियारों के रास्तों पर फिट किया। सारांश तुलना में 72 वास्तविक मक्खियों और 75 सिमुलेशन ने मिलते-जुलते रास्ता-सांख्यिकी दिए। प्रवेश पर सीखी गई वापसी-दिशा हटाने पर सभी गलियारा-अभिविन्यासों में ट्रैकिंग कम कुशल हुई। यह प्रवेश-दिशा स्मृति की उपयोगिता का समर्थन करता है; यह प्रमाण नहीं कि मक्खी का मस्तिष्क सचमुच मॉडल के समीकरण चलाता है।

> **इस शोधपत्र में “स्मृति” का क्या अर्थ है?**

> शोधकर्ताओं ने मक्खी के मस्तिष्क से कोई संग्रहित तीर सीधे नहीं पढ़ा। “दिशात्मक स्मृति” व्यवहार, मॉडल और न्यूरल माप से निकला समर्थित निष्कर्ष है। मॉडल कहता है कि कुछ बदलती दिशाएँ महत्वपूर्ण रास्ता-संख्या की देह रास कती हैं। यह साबित नहीं करता कि मक्खी सचमुच इन्हीं समीकरणों को लागू करती है या स्मृति किसी एक नामित न्यूरॉन समूह में संग्रहित है।

विपरीत अभिविन्यास वाले 45-डिग्री खंड का अतिरिक्त अनुभव 10 मक्खियों में बाद का व्यवहार बदलता दिखा, और यही बदलाव 29 मॉडल सिमुलेशन में भी दिखा। इससे दिशात्मक व्याख्या केवल बाद में फिट किए गए वर्णन से अधिक विशिष्ट बनती है, लेकिन इसकी व्याख्या अभी भी मॉडल-आधारित है।

एक हेडिंग संदर्भ और मौजूदा लक्ष्य

अध्ययन ने फिर मक्खी के **केंद्रीय complex**, नेविगेशन में शामिल मस्तिष्क क्षेत्र, की गतिविधि मापी और उसे बाधित किया।

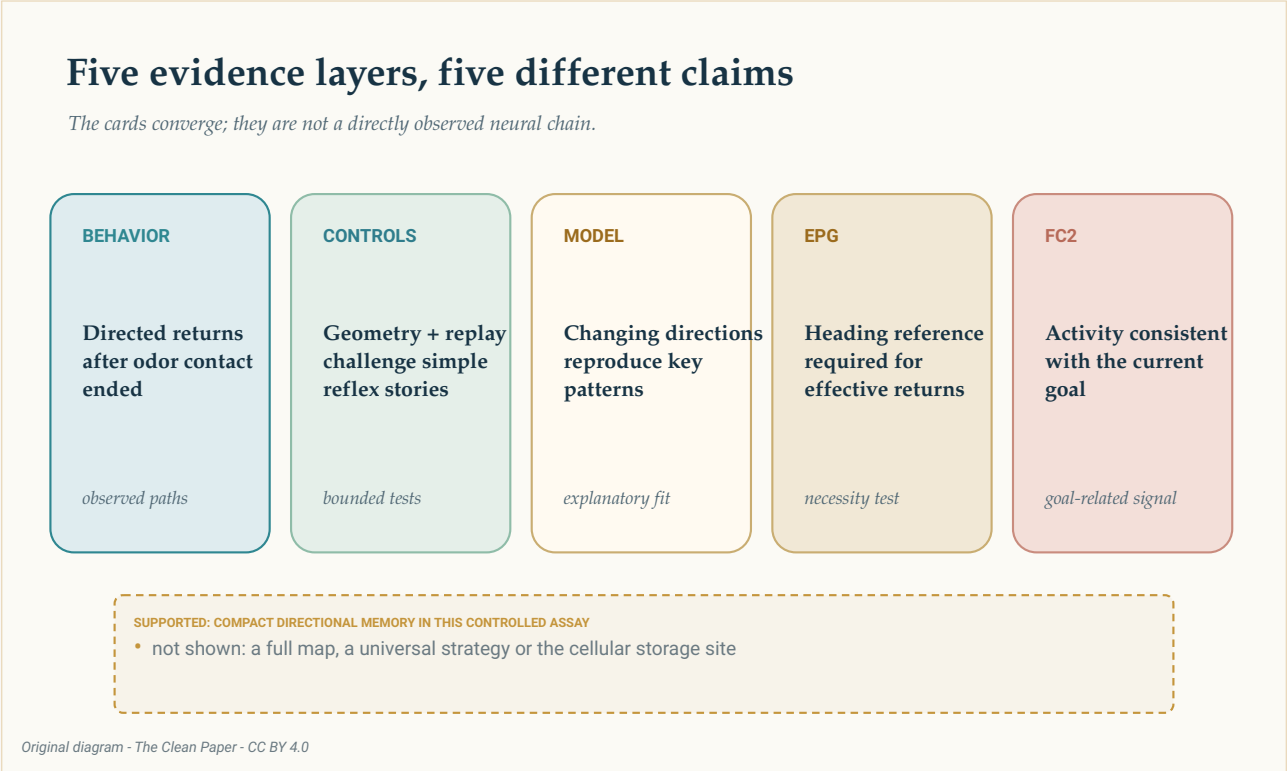
> **अलग काम वाले दो संकेत**
>
> EPG और FC2 केंद्रीय complex की दो न्यूरॉन आबादियों के नाम हैं। EPG गतिविधि कम्पास की रीडिंग जैसी है: हवा के सापेक्ष मक्खी किस दिशा में मुँह किए है, इसे ट्रैक करती है। FC2 गतिविधि उस दिशा से जुड़ी है जिसमें मक्खी चलने की कोशिश कर रही है। आगे के दिशा-नियंत्रण सर्किट मौजूदा दिशा की लक्ष्य से तुलना कर सकते हैं। अध्ययन दोनों आबादियों को परखता है, लेकिन यह नहीं दिखाता कि इनमें से कोई अकेली पूरी स्मृति संग्रहित करती है।

EPG न्यूरॉन दिशा-संकेत ले जाते हैं: उनकी गतिविधि का पैटर्न बाहरी संकेत के सापेक्ष मक्खी के मुँह की दिशा को ट्रैक करता है। कैल्शियम इमेजिंग — न्यूरल गतिविधि का अप्रत्यक्ष प्रकाशीय माप — से शोधकर्ताओं ने पाया कि निशाना ट्रैकिंग के दौरान EPG गतिविधि हवा के सापेक्ष दिशा का अनुसरण करती थी। विश्लेषण में 9 मक्खियों के 16 ट्रायल थे।

EPG न्यूरॉनों को दबाने के लिए शोधकर्ताओं ने उनमें **GtACR1**, हरी रोशनी से सक्रिय होने वाला anion चैनल, अभिव्यक्त कराया। परीक्षण ट्रायल में LED पूरे समय चालू रही, जिससे चैनल सक्रिय हुआ और चुने हुए न्यूरॉन दब गए; वही रोशनी आनुवंशिक-कंट्रोल मक्खियों के व्यवहार को खराब नहीं करती थी।

इस तरह EPG को दबाने पर 12 प्रयोगात्मक मक्खियों ने 6 आनुवंशिक-कंट्रोल मक्खियों की तुलना में कम प्रभावी निर्देशित वापसी की। सीमित निष्कर्ष यह है कि EPG गतिविधि में मौजूद दिशा-संदर्भ परखी गई परिस्थितियों में प्रभावी निशाना ट्रैकिंग के लिए जरूरी था। यह सक्षम्य नहीं कि EPG न्यूरॉन अकेले सीमा-दिशा संग्रहित करते हैं।

FC2 न्यूरॉनों का संबंध अलग था। आबादी की गतिविधि मौजूदा नेविगेशन लक्ष्य से जुड़ी थी और परीक्षण में मोड़ से पहले प्लूम सीमा की ओर संकेत करती थी। इमेजिंग में 6 मक्खियाँ थीं, और सहलेंसिंग तुलना में विश्लेषण के अनुसार 9 से 14 मक्खियों के समूह थे। सहलेंसिंग ने निशाना ट्रैकिंग को कमजोर किया।



व्यवहार, बदलीहुई प्लूम-ज्यामिति, फटि कियागयामॉडल और दोन्यूरल हस्तक्षेप दर्शात्मक-स्मृति कीव्याख्याके अलग हिस्सो कासमर्थन करते हैं। मलिकर वे नियंत्रित परीक्षण में संक्षपित लक्ष्य-दर्शाकासमर्थन करते हैं, पूरे नक्शे यासद्धि कोशकिीय संग्रह-स्थान कानही।

The Clean Paper CC BY 4.0

यह कई दर्शाओं से मलिताहुआ सक्ष्य है, कारणोकीसीधे खींचीगई तस्वीर नही। EPG गतविधि ने जरूरीदर्शासंदर्भ दिया। FC2 गतविधि लक्ष्य-दर्शाके अनुरूप थीऔर प्रभावीव्यवहार के लिए जरूरीथी। प्रयोगोने किसीएक स्मृति "engram" कीजगह नहीपहचानीऔर यह सावति नहीकियाकि FC2 सनिप्स दर्शाकोभौतिक रूप से संग्रहति करते हैं।

एक मेंटीमानवीय तुलनालें: स्थरि हवाके बीच आप किसीसंकरीधुंध कीपट्टीसे बहर निकलते हैं। कम्पास बतासकताहै कि आपकामुँह किस ओर है, लेकनि धुंध तक लौटने के लिए उसके निर्देश कीयाद रखीहुई दर्शाभीचहिए। मौजूदादर्शाको लक्ष्य-दर्शासे मलिाने पर पताचलताहै कि किस ओर मुड़नाहै। EPG और FC2 संकेतोके लिए यहाँकम काऐसाबँटवारा सुझताहै। यह केवल समझाने वालीतुलनाहै, सक्ष्य नहीकि मनुष्य वहीकोशिकाएँ याएल्गोरिदम इस्तेमाल करते हैं।

स्मृति क्रियापर निर्भर थी, केवल गंध के समय पर नही

रीम्ले प्रयोग में मक्खियोंकोगंध कावहीसमय-क्रम दियागयाजोपहले मलिाथा, लेकनि उसकासमय अब उनकीमौजूदाक्रिया से जुड़ानहीथा। सीखाहुआ दर्शात्मक झुकाव रीम्ले bouts के साथ कमजोर हुआ। यह **ऑपेरेंट**, यानीक्रियासे जुड़ाअद्यतन, कासमर्थन करताहै: केवल निष्क्रिय गंध-क्रम नही, बल्कि गंध और मक्खीकीगति कासंबंध मायने रखताथा।

इन विश्लेषणोमें नमूनाहर तुलनाके साथ बदलताहै। Extended Data पैनल में तुलनाके अनुसार 8 या9 मक्खियाँशामिल हैं; लगातार bouts कीशृंखलामें 8 मक्खियाँहैं; पथ पैनल कोकम-से-कम 10 प्रभावीप्रवेश चहिए; युग्मति मॉडल पैनल 21 सिमुलेटेड पथ इस्तेमाल करते हैं जोवहीप्रवेश सीमापूरीकरते हैं। ये "आठ मक्खियों" काएक हीसंयुक्त नमूनानहींहैं।

अधिक अनियमित प्लूम उपयोगी परीक्षण था, लेकिन फिर भी आभासी

शोधकर्ताओं ने पहले से दर्ज एक अधिक अनियमित प्लूम रीप्ले किया। बँधी हुई मक्खियाँ उससे पर्याप्त बार मिल सकें, इसलिए उसे स्थान और समय दोनों में पाँच गुना बड़ा किया गया। **12 में से 10 मक्खियाँ** उसके स्रोत से 50 आभासी मिलीमीटर के भीतर पहुँचीं।

यह खुले वातावरण में वास्तविक स्रोत खोजती दस मक्खियाँ नहीं हैं। यह प्रकृति-जैसा प्लूम के नियंत्रित रीप्ले में प्रदर्शन है।

हर गतिशील-प्लूम प्रकार के लिए मॉडल ने 2,000 पथ बनाए। बड़े किए गए प्लूम की तुलना में प्रभावी प्रवेश की शर्त लगभग और स्रोत के बहुत पास शुरू हुए पथ हटाने के बाद उन 2,000 में से 1,850 का विश्लेषण किया गया। स्रोत के पास स्मृति अधिक मददगार थी, जहाँ लगातार मुलाकातों में सुसंगत दिशात्मक संरचना बनी रहती थी; दूर या उनके अधिक अशांत क्षेत्र में कम।

यह सीमा नतीजे का हिस्सा है। संक्षिप्त दिशा भी मदद कर सकती है जब दुनिया इतनी सुसंगत रहे कि पिछली मुलाकात अगली मुलाकात के बारे में उपयोगी जानकारी दे।

अध्ययन क्या नहीं दिखाता

- यह मक्खी को पूरा स्थान का नक्शा बनाते हुए **नहीं** दिखाता।
- यह बिना बदले प्रकृति के प्लूम में स्वतंत्र उड़ान **नहीं** दिखाता।
- यह स्थापित **नहीं** करता कि हर गंध-निर्देशित नेविगेशन यही रणनीति इस्तेमाल करता है।
- यह **नहीं** दिखाता कि EPG या FC2 न्यूरॉन स्मृति के एकमात्र भौतिक संग्रह-स्थान हैं।
- यह फिट किए गए मॉडल को मक्खी का शब्दकोश जैसे कि एल्गोरिदम **नहीं** बनाता।
- यह सीधे मानव नेविगेशन पर लागू **नहीं** किया जा सकता।

अध्ययन सबसे मजबूत वहीं है जहाँ वह सबसे विशिष्ट है। क्लोज़्ड-लूप नियंत्रण ने शोधकर्ताओं को हर गंध-मुलाकात पर बहुत सटीक जानकारी दी। ज्यामिति में बदलाव, रीप्ले, मॉडलिंग, कैल्शियम इमेजिंग और साइलेंसिंग ने फिर एक व्याख्या के अलग हिस्सों को परखा। लेकिन व्यवहार, इमेजिंग और साइलेंसिंग के समूह अलग थे; नमूना आकार पहले से तय नहीं थे; डेटा संग्रह और विश्लेषण यादृच्छिक या ब्लाइंड नहीं थे; और 10% से कम बँधी हुई मक्खियों को अनुकूलन, प्रतिक्रिया या ट्रैकिंग समस्याओं के कारण बाहर रखा गया।

ये सीमाएँ phenomenon को मिटाती नहीं हैं। वे उसकी सीमा तय करती हैं।

साफ़ सारांश

आभासी गंध-गलियारे में चलती बँधी हुई फल-मक्खियाँ गंध छोड़ने के बाद भी बार-बार सीमा पर लौटीं। संदर्भ और गलियारे की ज्यामिति में बदलाव, फिट किया गया switching मॉडल, न्यूरल इमेजिंग और ऑप्टोजेनेटिक साइलेंसिंग उस व्याख्या का समर्थन करते हैं जिसमें मक्खी पूरे नक्शे की जगह संक्षिप्त, याद रखी हुई दिशा इस्तेमाल करती है। EPG न्यूरॉन जरूरी दिशा-संदर्भ देते थे, जबकि FC2 गतिविधि मौजूदा लक्ष्य-दिशा के अनुरूप थी। नतीजा नियंत्रित चलने वाले परीक्षण तक

सीमति है; यह स्मृतकि कोशकिीय संग्रह-स्थम कीपहचम नहीकरताऔर प्रकृतकि स्वतंत्र उड़म में यहीगणनाहोने को नहीदखिता।

बनिाबढ़ा-चढ़ाकर जाँच

शोधपत्र क्यादखिताहै: क्लोज़्ड-लूप बँधे हुए परीक्षण में मक्खयिाँउन आभासीगंध-सीमाओं पर नरि्देशति वापसीकरती हैं जनि्हें वे उस क्षण सूँघ नहीसकतीथी। कई व्यवहारकि नयिंत्रण, मॉडलगि और न्यूरल हस्तक्षेप वेक्टर-आधारति रणनीतकिासमर्थन करते हैं।

क्यानष्किर्ष नकिालागयाहै: व्यवहार संक्षपि्त दशिात्मक स्मृतइिस्तेमाल करताहै, और FC2 आबद्दीकीगतविधिमौजूदानेवगिेशन लक्ष्य काप्रतनिधित्वि करतीहै। स्मृतकीसमग्रीकोसीधे नहीपढ़ागया।

यह क्यानहीदखिता पूरामनसकि नक्शा, सार्वभौमकि घ्राण रणनीत;ि प्रकृतकि प्लूम में स्वतंत्र उड़म काप्रदर्शन; स्मृतकिाकेई एकमत्र संग्रह-स्थम; यामनव में इसकाकेई सीधासमकक्ष।

मुख्य सीमाएँ: एक प्रजातऔि नयिंत्रति उपकरण; प्रयोगों के बीच अलग मक्खीसमूह और वशि्लेषण इकाइयाँ; अप्रत्यक्ष कैल्शयिम संकेत; ऐसे आवश्यकताप्रीक्षण जोपर्याप्ततासमझति नहीकरते; और प्रकृतकि-जैसाप्लूम जसिे रीम्ले करके बड़ाकयिागयाथा।

सामान्य पाठक कोकतिनाभरोसारखनाचाहए? इस उपकरण में नरि्देशति-वापसीकीघटनावास्तवकि है और दशिातथालक्ष्य से जुड़ीकेंद्रीय-complex गतविधिमिायने रखतीहै, इसमें उच्च भरोसा। संक्षपि्त व्याख्याके रूप में मॉडल में मध्यम भरोसा। इसे बनिाबदलाव खुले प्रकृतकि वातावरण तक फैलाने यापूरानक्शाकहने में कम भरोसा।

स्रोत

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