The CLEAN PAPER

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

አንድ ዝንብ ሽታውን ሊያጣ እና እንደገና ሊመለስ ይችላል። በvirtual plume ውስጥ የታወሰ አቅጣጫ ረድቶታል

ታስረው ያሉ የፍራፍሬ ዝንቦች ወደ ንጹህ አየር ከተራመዱ በኋላ በተደጋጋሚ ወደ የሽታ ድንበር ተመለሱ። ባህሪ፣ modeling እና neural perturbations ሙሉ ካርታን ሳይሆን አጭር የአቅጣጫ ማስታወሻን ይደግፋሉ። ውጤቱ ከቁጥጥር ውስጥ ካለ virtual-reality assay የመጣ ነው እና እስካሁን በነፃ ተፈጥሯዊ በረራ ውስጥ ተመሳሳይ ስትራቴጂ እንዳለ አያሳይም።

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

አንድ ዝንብ ሽታውን ሊያጣ እና እንደገና ወደ እሱ ሊመለስ ይችላል

ዝንቡ ሽታውን ከኋላው ትቶት ነበር።

በንጹህ አየር ውስጥ መራመዱን ቀጠለ፤ አንዳንድ ጊዜ ለአሥርተ ሰከንዶችና ለመቶዎች ሽርቼዋል ሚሊሜትሮች። ከዚያ ያቋረጠውን ድንበር ወደ ኋላ ተመለሰ እና ሽታውን እንደገና አገኘ። በዚያ ጊዜ ሽታው ራሱ የመመለሻውን አቅጣጫ ሊጠቁምለት አይችልም ነበር።

ይህ በፍራፍሬ ዝንቦች አቅጣጫ ፍለጋ ላይ የተደረገ አዲስ Nature ጥናት ዋና ምልከታ ነው። ተመራማሪዎቹ ዝንቦቹ አጭር የአቅጣጫ ማስታወሻ እንደተጠቀሙ ይከራከራሉ፦ የሙሉ የሽታ plume ካርታ አይደለም፤ የተጓዙትን ርቀት ማስታወስም አይደለም፤ ከእንግዲህ ሊለይ ወደማይችል ድንበር የሚያመራ የታወሰ bearing ነው።

ውጤቱ እጅግ አስደናቂ ነው፤ ምክንያቱም በጣም ትንሽ የተከማቸ መረጃ በቂ ሊሆን እንደሚችል ያሳያል። ነገር ግን ማጋነንም ቀላል ነው። እነዚህ ዝንቦች በተፈጥሯዊ መልክዓ ምድር ውስጥ በነፃ አልበሩም። በጥብቅ በተቆጣጠረ ምናባዊ ዓለም ውስጥ በአየር የተደገፈ ኳስ ላይ ታስረው ሲራመዱ ነበር። ጥናቱ በዚያ መሣሪያ ውስጥ vector-ተኮር ስትራቴጂን ይደግፋል፤ ዝንቦች mental maps እንደሚገነቡ፣ እንስሳት ሽታን የሚከተሉባቸውን ሁሉንም መንገዶች እንደሚያብራራ ወይም ማስታወሻው በአካል የትኞቹ ሴሎች ውስጥ እንደሚቀመጥ አያሳይም።

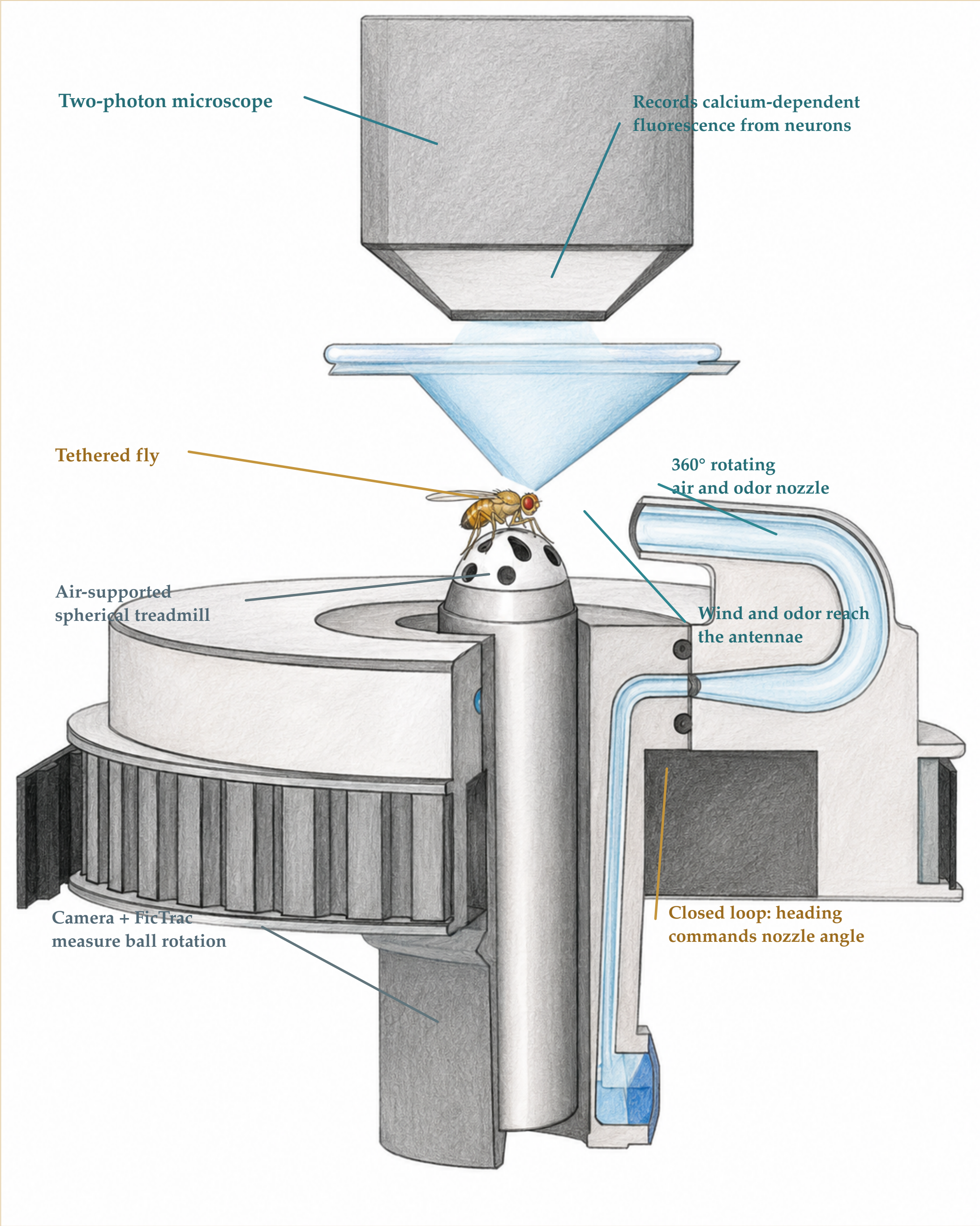
የማይታየው ኮሪደር በsoftware ተሠራ

የሽታ plume በአየር የሚወሰድ የሽታ እንቅስቃሴ ክልል ነው። ከቤት ውጭ፣ ነፋስ ሲለወጥ plume-ው ይጠመዝዛል፣ ይበጣጠሳል እና እንደገና ይገናኛል። ይህ እንስሳው በእያንዳንዱ ጊዜ ምን እንደሸተተ በትክክል ማወቅን ከባድ ያደርገዋል።

ተመራማሪዎቹ ችግሩን በclosed-ሉፕ ምናባዊ reality ሊቆጣጠሩት አደረጉ። የዝንቡ አካል በአየር ላይ ከሚንሳፈፍ ቀላል ኳስ በላይ ተይዞ ተቀመጠ። ዝንቡ ሲራመድ፣ ካሜራ የኳሱን ዙር በሰከንድ 60 ጊዜ ገደማ ለካ። Software ያንን ዙር ወደ ምናባዊ ሁለት-ልኬት ቦታና የአቅጣጫ አቀማመጥ ቀየረው።

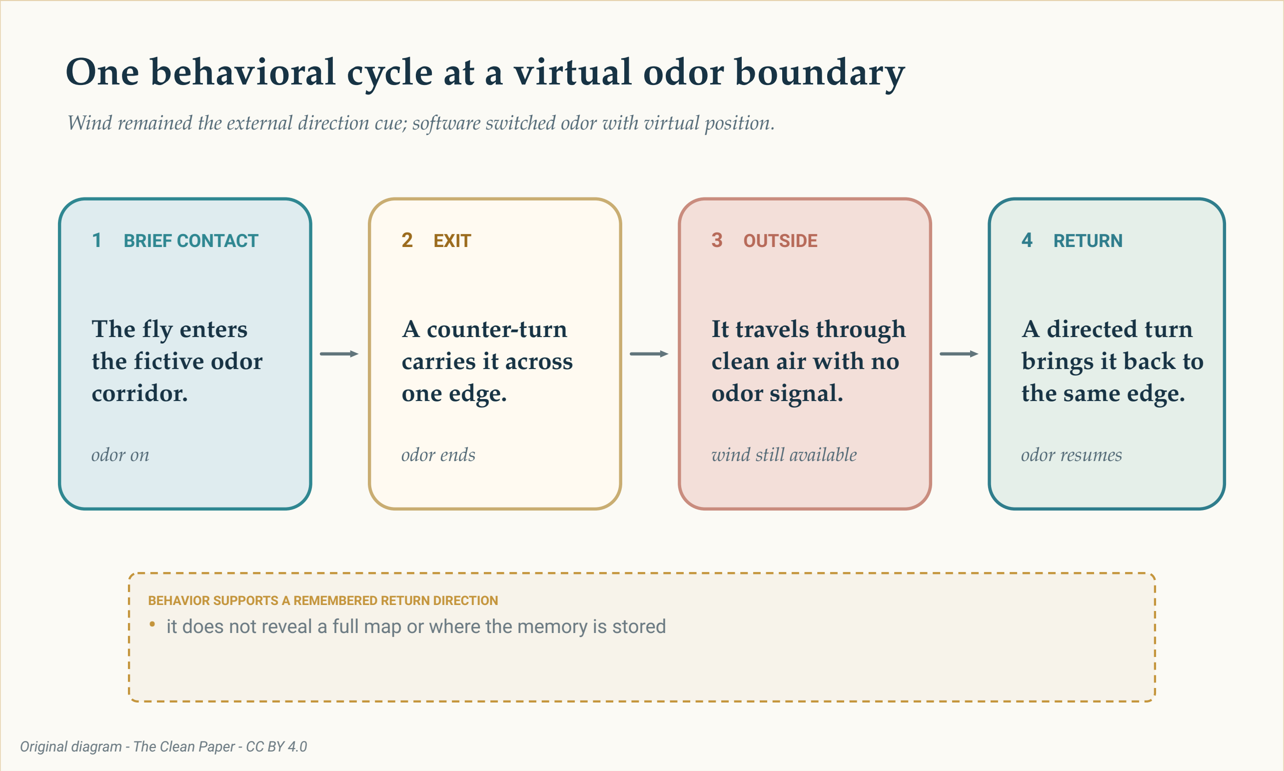
ያ የአቅጣጫ አቀማመጥ 360 degrees ሊዞር የሚችል motorized nozzle ይቆጣጠር ነበር። ዝንቡ ምናባዊ የአቅጣጫ አቀማመጥ-ውን ሲቀይር፣ nozzle-ው በዙሪያው ተንቀሳቅሶ ነፋሱን በዝንቡ ምናባዊ ዓለም ውስጥ ከቋሚ አቅጣጫ ጋር ያስተካክል ነበር። በዚያኑ ጊዜ mass-flow controllers በዝንቡ ምናባዊ ቦታ መሠረት ወደ antennae የሚደርሰውን ንጹህ አየር ወይም የapple-cider-vinegar ሽታ መጠን ይቀይሩ ነበር። በsoftware የተወሰነ ድንበር ማቋረጥ ስለዚህ ሽታውን ያበራ ወይም ያጠፋ ነበር፤ ዝንቡ ከኳሱ ፈጽሞ ሳይወጣ 50 millimetres ስፋት እና አንድ metre ርዝመት ያለው ሰው ሠራሽ ኮሪደር ይፈጥር ነበር።

መሣሪያ-ው በእያንዳንዱ ጊዜ የዝንቡ ምናባዊ ቦታ፣ የአቅጣጫ አቀማመጥ፣ odor ሁኔታ እና airflow controls የተመሳሰሉ መዝገብ ፈጠረ። ከዚያ መዝገብ ተመራማሪዎቹ የእንቅስቃሴ መንገዶችን ዳግም ገነቡ፣ እያንዳንዱን መግባትና መውጣት ምልክት አደረጉ እና ዝንቡ ምን ያህል ቀጥታ እንደተመለሰ ለኩ። ነፋስ ውጫዊውን የአቅጣጫ ምልክት ሰጠ፤ የዝንቡ የራሱ እንቅስቃሴ ግን ከምናባዊ odor ወሰን የትኛውንም ጎን መቼ እንደሚያገኝ ወሰነ።



ዝንቡ በአየር ከተደገፈ ኳስ በላይ ታስሮ ቆይቷል። ካሜራና FicTrac የኳሱን ዙር ወደ ምናባዊ እንቅስቃሴና የአቅጣጫ አቀማመጥ ቀየሩ፤ software ከዚያ የአየር-እና-ሽታ nozzle-ውን ዞረ እና በምናባዊ ቦታ መሠረት ሽታውን አበራ ወይም አጠፋ። በተለየ ነርቭ-ነክ-ምስል ማንሳት ሙከራዎች ወቅት፣ ከዝንቡ በላይ ያለው two-photon microscope ከEPG ወይም FC2 ነርቭ ሴሎች የcalcium-dependent fluorescence መዝግቧል፣ ይህም ነርቭ-ነክ እንቅስቃሴን ከባህሪ ጋር ለማስተካከል አስችሏል። microscope-ው ለእያንዳንዱ የባህሪ ሙከራ አላስፈለገም።

The Clean Paper CC BY 4.0



በቁጥጥር ውስጥ ባለው assay፣ አንድ ዝንብ ለአጭር ጊዜ ምናባዊ odor ኮሪደር ውስጥ ገባ፣ ወጣ፣ በሽታ-ነፃ አየር ውስጥ ተጓዘ እና በቀጥታ ተመለሰ። ባህሪው የታወሰ የመመለሻ አቅጣጫን ይደግፋል፤ መረጃው የት እንደሚከማች አያሳይም።

The Clean Paper CC BY 4.0

በዋናው ቀጥ ያለ-ኮሪደር ሙከራ፣ 40 ዝንቦች በተደጋጋሚ ወደ ሽታው ገቡ፣ ተቃራኒ አቅጣጫ በማድረግ ወጡ እና ወደዚያው ጠርዝ ተመለሱ። “Vertical” ጥናቱ ለ0-degree ጂኦሜትሪ የሰጠው ስም ነው፦ የኮሪደሩ ረጅም ዘንግ ከupwind አቅጣጫ ጋር ትይዩ ነበር። መሣሪያ-ው ቁልቁል ቆሞ ነበር ማለት አይደለም።

ደራሲዎቹ ይህን ንድፍ ጠርዝ መከታተያ ይሉታል። bout በድንበር ማቋረጦች መካከል ያለ አንድ ቀጥተኛ ክስተት ነው፦ ውስጥ bout ከመግባት እስከ መውጣት፣ outside bout ደግሞ ከመውጣት እስከ ዝንቡ መመለስ ድረስ። በ755 ውስጥ bouts ላይ አንድ ጉብኝት በአማካይ 4.9 seconds ቆየ። በመመለሻዎች ወቅት ከድንበሩ ያለው አማካይ ርቀት 10.4 millimetres ነበር። ከ793 bouts ከ4% ያነሱ ብቻ እስከ ኮሪደሩ ተቃራኒ ጠርዝ ድረስ ተሻገሩ።

የመጨረሻዎቹ ሁለት ቁጥሮች boutsን ይገልጻሉ፣ በመቶዎች የሚቆጠሩ ነፃ ዝንቦችን አይደለም። ልዩነቱ አስፈላጊ ነው፣ ምክንያቱም አንድ እንስሳ ብዙ bouts ሊያበረክት ይችላል።

መመለሻዎቹ ቋሚ upwind reflex ብቻ አልነበሩም

ብዙ ሙከራዎች ይበልጥ ቀላል ማብራሪያዎችን ፈትነዋል።

ተመራማሪዎቹ መጀመሪያ ዝንቡ upwind ሲራመድ በኮሪደሩ ርዝመት ላይ ምን እንደሚከሰት ቀየሩ። ወደ ምናባዊ ምንጭ ሲቀርብ ሽታው ሊጠነክር፣ ቋሚ ሊቆይ ወይም ሊዳከም ይችል ነበር። ዝንቦቹ በሶስቱም ሁኔታዎች ተመሳሳይ መንገዶች አዘጋጁ። ስለዚህ “ሽታው በሚጠነክርበት አቅጣጫ ብቻ ቀጥል” የሚል ቀላል ደንብ በዚህ መሣሪያ ውስጥ ጠርዝ መከታተያን ሊያብራራ አይችልም።

ከዚያ የኮሪደሩን የጎን ጠርዝ ወደ Gaussian profile አለሰለሱት፣ እዚያም ክምችት በድንገት ከመቀየር ይልቅ ቀስ በቀስ ይለወጥ ነበር። ዝንቦቹ ሽታ በጣም ጠንካራ በሆነበት መሃል ሳይሆን ክምችት በጣም በፍጥነት በሚለወጥበት flank አጠገብ ተሰበሰቡ። ስለዚህ አስፈላጊው ምልክት በኮሪደር ርዝመት ላይ ወደ ምንጭ የሚጨምር ሽታ ሳይሆን ውጤታማ ድንበርን የሚጠቁም የጎን ለውጥ ነበር።

ይህ ክምችት gradients በተፈጥሮ ፈጽሞ አያስፈልጉም ማለት አይደለም። በተፈተኑት ሁኔታዎች ለዚህ ባህሪ ወደ ምንጭ የሚጨምር ሽታ አላስፈለገም ማለት ነው።

ተመራማሪዎቹ የኮሪደሩን orientationም ቀየሩ። የተለያዩ ቡድኖች ቀጥ ያለ፣ 45-degree እና 90-degree ኮሪደሮችን ተከታተሉ፣ ሌላ ቡድንም ከመውጣት በኋላ ወደ ጎን የሚዘል ኮሪደር አገኙ። የቡድን መጠኖቹ በቅደም ተከተል 40፣ 21፣ 20 እና 24 ዝንቦች ነበሩ። የoutside መንገዶቻቸው ከጂኦሜትሪ ጋር ተቀየሩ። “ሁልጊዜ upwind ተመለስ” የሚል አጠቃላይ ደንብ ያንን ተለዋዋጭነት ሊያብራራ አይችልም።

በዚህ ስርዓት ሽታ ሁለቱ antennaeን በሁለት milliseconds ገደማ ውስጥ ይደርስ ነበር። bilateral optogenetic activationን ከነፋስ ጋር ማጣመር ጠርዝ-መከታተያ-like ንድፍ ሊፈጥር ችሏል። Optogenetics በብርሃን ስሜት ያላቸውን ፕሮቲኖች በመጠቀም የተመረጡ ሴሎችን ይቀይራል። እዚህ ውጤቱ ለዚህ ባህሪ ሽታ በግራና በቀኝ መድረሱ ልዩነት አስፈላጊ እንዳልነበረ ይጠቁማል። በሌሎች plumes ውስጥ ለነፃ የሚንቀሳቀሱ እንስሳት bilateral comparison አስፈላጊ አይደለም ማለት አይደለም።

Vector ከካርታ ያነሰ መረጃ ይፈልጋል

Vector አቅጣጫን ከመጠን ጋር ያጣምራል። እዚህ ጠቃሚው የተከማቸ መጠን በዋናነት የአቅጣጫ ነበር፦ ወደ plume ወሰን ለመድረስ ዝንቡ የትኛውን አቅጣጫ መዞር አለበት? ጥናቱ ዝንቡ የplume-ውን ሙሉ አቀማመጥ ወይም በውስጡ የራሱን ቦታ እንደሚያከማች ማስረጃ አላገኘም።

ደራሲዎቹ መጀመሪያ የእውነተኛ ዝንብ እንቅስቃሴ ንጥረ ነገሮችን በመቀላቀል በማድረግ ሰው ሠራሽ መንገዶችን ገነቡ። የታዩ run lengths እና turn anglesን በየዘፈቀደ መርጠው አገናኙ። ከእነዚህ synthetic walkers አንዳንዶቹ በመጨረሻ odor ወሰንን እንደገና አገኙ፣ ግን ከእውነተኛ ዝንቦች ይበልጥ ርቀው ተቅበዘበዙ እና ያነሰ ቀጥተኛ መንገድ ወሰዱ። ዝንቦቹ በተለምዶ upwind የመዞር አዝማሚያ እንኳን መጨመር አጭሩን ቀጥተኛ መመለሻ አላባዛም። ስለዚህ እውነተኛው ባህሪ ከተመሳሳይ እንቅስቃሴዎች የዘፈቀደ remix የበለጠ የአቅጣጫ መረጃ ይዟል።

ተመራማሪዎቹ ከዚያ ሁለት modes ያሉት ሞዴል ገነቡ፦ ድንበሩን ተው እና ወደ ድንበሩ ተመለስ። እነዚህ modes በሽታው ውስጥ ወይም ውጭ ያለውን እያንዳንዱን ጊዜ የሚለዩ መለያዎች አልነበሩም። ዝንቡ ሲንቀሳቀስ ሊቀያየሩ የሚችሉ አማራጭ የsteering rules ነበሩ።

እያንዳንዱ ድንበር ማቋረጥ ለሞዴሉ ሊያስታውሰው የሚገባ አቅጣጫ ሰጠ። ሲወጣ፣ በመራቅ ወቅት የሚጠቀምበትን አቅጣጫ አዘምኗል። ሲገባ፣ የተለየ የመመለሻ አቅጣጫ አዘምኗል፦ በቀላሉ “ድንበሩን ባገኘሁበት ጊዜ ወደዚህ አቅጣጫ እንቀሳቀስ ነበር” የሚል። በኋላ በመመለሻ ወቅት፣ ያ የታወሰ አቅጣጫ የተስመሰለውን ዝንብ ወደ ጠርዙ እንዲንቀሳቀስ አዘነበለው።

ተመራማሪዎቹ ሞዴሉን በ0-፣ 45- እና 90-degree ኮሪደሮች ላይ ካሉ የእንቅስቃሴ መንገዶች ጋር አስማሙ። በማጠቃለያ ንጽጽሩ 72 እውነተኛ ዝንቦች እና 75 ማስመሰያዎች ተመሳሳይ መንገድ statistics አዘጋጁ። ሲገባ የተማረው የመመለሻ አቅጣጫ ሲወገድ፣ መከታተያ በሁሉም ኮሪደር orientations ላይ ያነሰ ውጤታማ ሆነ። ይህ የentry-አቅጣጫ ትውስታ ጠቃሚነትን ይደግፋል፤ የዝንብ አንጎል በቃል በቃል የሞዴሉን እኩልታዎች እንደሚያስኬድ አያረጋግጥም።

“ትውስታ” በዚህ ጥናት ምን ማለት ነው?

ተመራማሪዎቹ ከዝንብ አንጎል ውስጥ የተከማቸ ቀስት በቀጥታ አላነበቡም። “Directional ትውስታ” በባህሪ፣ በሞዴልና በነርቭ-ነክ መለኪያዎች የተደገፈ ግምት ነው። ሞዴሉ ጥቂት የሚለወጡ አቅጣጫዎች ጠቃሚ መንገድ statisticsን ሊያባዙ እንደሚችሉ ይላል። ዝንቡ እኩልታዎቹን በቃል በቃል እንደሚተገብር ወይም አንድ የተሰየመ የነርቭ ሴሎች ቡድን የማከማቻ ቦታ እንደሆነ አያረጋግጥም።

ተቃራኒ orientation ያለው 45-degree segment ጋር ተጨማሪ ልምድ በ10 ዝንቦች የኋላ ባህሪን ቀየረ፣ 29 የሞዴል ማስመሰያዎችም ተያይዘው ነበር። ይህ የአቅጣጫ ትርጉሙን ከpost-hoc መግለጫ የበለጠ ልዩ ያደርገዋል፣ ግን አሁንም በሞዴል ላይ የተመሠረተ ትርጉም ነው።

የአቅጣጫ አቀማመጥ ማጣቀሻ እና የአሁኑ ግብ

ጥናቱ ቀጥሎ በዝንብ central ውስብስብ፣ በnavigation ውስጥ ሚና ያለው የአንጎል ክልል፣ ያለውን እንቅስቃሴ ለካና አበላሸ።

ሁለት የተለያዩ ሥራዎች ያላቸው ምልክቶች

EPG እና FC2 በcentral ውስብስብ ውስጥ ያሉ ሁለት የነርቭ ሴል ሕዝቦች ስሞች ናቸው። EPG እንቅስቃሴ እንደ compass reading ይሠራል፦ ዝንቡ ከነፋሱ አንጻር አሁን የትኛውን አቅጣጫ እንደሚመለከት ይከታተላል። FC2 እንቅስቃሴ ዝንቡ ለመጓዝ ከሚሞክርበት አቅጣጫ ጋር ይዛመዳል። የታችኛው steering circuit የአሁኑን የአቅጣጫ አቀማመጥ ከዚያ ግብ ጋር ሊያነጻጽር ይችላል። ጥናቱ ሁለቱንም ሕዝቦች ይፈትናል፣ ግን አንዳቸውም ብቻውን ሙሉ ማስታወሻውን እንደሚያከማች አያሳይም።

EPG ነርቭ ሴሎች የአቅጣጫ አቀማመጥ ምልክት ይይዛሉ፦ እንቅስቃሴ pattern-ቸው ዝንቡ ከውጫዊ ምልክት አንጻር የሚመለከተውን አቅጣጫ ይከታተላል። Calcium ምስል ማንሳት፣ የነርቭ-ነክ እንቅስቃሴ ቀጥተኛ ያልሆነ optical readout፣ በመጠቀም ተመራማሪዎቹ EPG እንቅስቃሴ phase በጠርዝ መከታተያ ወቅት ከነፋስ አንጻር የአቅጣጫ አቀማመጥን እንደተከተለ አገኙ። ይህ ትንታኔ ከ9 ዝንቦች 16 ሙከራዎች ተጠቅሟል።

EPG ነርቭ ሴሎችን ለማገድ፣ ተመራማሪዎቹ በአረንጓዴ ብርሃን የሚበራ GtACR1 የተባለ anion channel እንዲገልጹ ለወጧቸው። በሙከራ ሙከራ ሁሉ ውስጥ LED በርቶ ቆየ፣ ይህም channel-ውን አንቃ እና የተመረጡ ነርቭ ሴሎችን አፈነ፣ ተመሳሳይ ብርሃን በgenetic-ቁጥጥር ዝንቦች ላይ ጉዳት አላመጣም።

EPG ነርቭ ሴሎች በዚህ መንገድ ሲታገዱ፣ 12 experimental ዝንቦች ከ6 genetic-ቁጥጥር ዝንቦች ያነሰ ውጤታማ ቀጥተኛ መመለሻ አደረጉ። የተገደበው መደምደሚያ EPG እንቅስቃሴ የሚይዘው የአቅጣጫ አቀማመጥ ማጣቀሻ በተፈተኑት ሁኔታዎች ውጤታማ ጠርዝ መከታተያ ለማድረግ አስፈላጊ ነበር የሚል ነው። EPG ነርቭ ሴሎች ብቻቸውን ወሰን አቅጣጫን እንደሚያከማቹ ማስረጃ አይደለም።

FC2 ነርቭ ሴሎች የተለየ ግንኙነት አሳዩ። ሕዝብ እንቅስቃሴ-ቸው ከአሁኑ navigation ግብ ጋር ተያይዞ ነበር፣ በassay-ው ውስጥ ከturns በፊት ወደ plume ወሰን ይጠቁም ነበር። ምስል ማንሳት 6 ዝንቦችን ተጠቅሟል፣ እንቅስቃሴን ማገድ comparisons ደግሞ በትንታኔው መሠረት ከ9 እስከ14 ዝንቦች ያሉ ቡድኖችን ተጠቅሟል። Silencing ጠርዝ መከታተያን አበላሸ።

ባህሪ፣ የተለወጠ plume ጂኦሜትሪ፣ የተስማማ ሞዴል እና ሁለት ነርቭ-ነክ perturbations የአቅጣጫal-ትውስታ ትርጉሙን የተለያዩ ክፍሎች ይደግፋሉ። በጋራ በዚህ በቁጥጥር ውስጥ ባለ assay ውስጥ አጭር የግብ አቅጣጫን ይደግፋሉ፤ ሙሉ ካርታን ወይም የተረጋገጠ የcellular ማከማቻ ቦታን አይደለም።

The Clean Paper CC BY 4.0

ይህ እርስ በርስ የሚደጋገፍ ማስረጃ ነው፤ በፎቶ የተያዘ የምክንያት ሰንሰለት አይደለም። EPG እንቅስቃሴ አስፈላጊ የአቅጣጫ አቀማመጥ ማጣቀሻ ሰጠ። FC2 እንቅስቃሴ ከግብ አቅጣጫ ጋር የሚስማማ ነበር እና ውጤታማ ባህሪ ለማድረግ አስፈላጊ ነበር። ሙከራዎቹ አንድ የትውስታ “engram” አላገኙም ወይም FC2 synapses በአካል አቅጣጫውን እንደሚያከማቹ አላረጋገጡም።

ቀላል የሰው-መጠን ምሳሌ፤ ቋሚ ነፋስ ሰሜን የት እንደሆነ እየነገረዎት ከጠባብ ጭጋግ ውጭ እንደወጡ አስቡ። compass የትኛውን አቅጣጫ እንደሚመለከቱ ሊነግርዎት ይችላል፤ ወደ ጭጋጉ ለመመለስ ግን ወደ ጠርዙ የሚያመራ የታወሰ bearing ያስፈልጋል። የአሁኑን የአቅጣጫ አቀማመጥ ከሚፈለገው bearing ጋር ማነጻጸር የትኛውን አቅጣጫ መዞር እንዳለብዎት ይነግርዎታል። እዚህ ለEPG እና FC2 ምልክቶች የቀረበው የሥራ ክፍፍል ይህን ይመስላል። የማብራሪያ ምሳሌ ነው፤ ሰዎች ተመሳሳይ ሴሎች ወይም አልጎሪዝም እንደሚጠቀሙ ማስረጃ አይደለም።

ማስታወሻው በእርምጃ ላይ የተመረኮዘ ነበር፣ በሽታ ጊዜ ብቻ አይደለም

በreplay ሙከራ፣ ዝንቦች እንደቀድሞው ተመሳሳይ የሽታ ጊዜያት ቅደም ተከተል ተቀበሉ፤ ነገር ግን ጊዜው ከአሁኑ እንቅስቃሴያቸው ተለይቶ ነበር። የተማረው የአቅጣጫ bias በreplay bouts ቀስ በቀስ ደከመ። ይህ operant፣ ከእርምጃ ጋር የተያያዘ updateን ይደግፋል፦ አስፈላጊው በቀላሉ የሽታ ቅደም ተከተል መቀበል አልነበረም፤ በሽታውና በዝንቡ እንቅስቃሴ መካከል ያለው ግንኙነት ነበር።

በእነዚያ ትንታኔዎች denominator ይቀየራል። Extended መረጃ panels በንጽጽሩ መሠረት 8 ወይም 9 ዝንቦችን ይይዛሉ፤ sequential-bout series 8 ዝንቦችን ይጠቀማል፤ trajectory panels ቢያንስ 10 ተግባራዊ entries ይፈልጋሉ፤ paired ሞዴል panels ደግሞ ያንን የentry ገደብ የሚያሟሉ 21 simulated የእንቅስቃሴ መንገዶች ይጠቀማሉ። እነዚህ ሁሉ የተቀላቀለ አንድ የስምንት ናሙና አይደሉም።

ይበልጥ ያልተስተካከለ plume ጠቃሚ ነበር፣ ግን አሁንም ምናባዊ ነበር

ተመራማሪዎቹ ቀድሞ የተመዘገበ፣ ይበልጥ ያልተስተካከለ plumeንም እንደገና አጫወቱ። ታስረው ያሉት ዝንቦች በቂ ጊዜ እንዲያገኙት በቦታና በጊዜ አምስት እጥፍ አስፋፉት። ከ12 ዝንቦች 10ቱ ከምንጩ 50 ምናባዊ millimetres ውስጥ ደረሱ።

ይህ አሥር ዝንቦች በክፍት አየር ውስጥ እውነተኛ ምንጭ አገኙ ማለት አይደለም። የnaturalistic plume በቁጥጥር ውስጥ በድጋሚ ሲጫወት ያሳዩት አፈጻጸም ነው።

ለእያንዳንዱ dynamic-plume ዓይነት፣ ሞዴሉ 2,000 የእንቅስቃሴ መንገዶች ፈጠረ። የscaled-plume ንጽጽሩ ተግባራዊ entry እንዲኖር ከጠየቀ እና ከምንጩ በጣም ቅርብ የጀመሩ የእንቅስቃሴ መንገዶችን ካስወገደ በኋላ ከ2,000 ውስጥ 1,850ን ተንትኗል። ትውስታ በምንጩ አጠገብ ይበልጥ ረዳ፣ በዚያ ተከታታይ encounters የተስማማ የአቅጣጫ መዋቅር ይዘው ነበር፤ በይበልጥ turbulent የdownwind ክልል ግን ያነሰ ረዳ።

ይህ ጥንቃቄ የውጤቱ ክፍል ነው። አጭር አቅጣጫ ሊረዳ የሚችለው ዓለም ቀደምት encounter ስለ ቀጣዩ ጠቃሚ መረጃ ሊሰጥ የሚችል ያህል ወጥ ሆኖ ሲቀር ብቻ ነው።

ጥናቱ ምን አያሳይም?

- ዝንብ ሙሉ የቦታ ካርታ ሲገነባ አያሳይም።
- ባልተለወጠ የተፈጥሮ plume ውስጥ ነፃ በረራ አያሳይም።
- ሁሉም በሽታ-የሚመራ navigation ይህን ስትራቴጂ እንደሚጠቀም አያረጋግጥም።
- EPG ወይም FC2 ነርቭ ሴሎች የማስታወሻው ብቸኛ አካላዊ የማከማቻ ቦታ እንደሆኑ አያሳይም።
- የተስማማውን ሞዴል ወደ ዝንቡ ቃል በቃል ባዮሎጂያዊ አልጎሪዝም አይቀይርም።
- በቀጥታ ወደ ሰው navigation አይዘረጋም።

ጥናቱ በጣም የሚጠነክረው በጣም የተወሰነ በሆነበት ነው። Closed-ዑደት ቁጥጥር ተመራማሪዎቹን ለእያንዳንዱ odor encounter ትክክለኛ መዳረሻ ሰጣቸው። Geometry changes፣ replay፣ modeling፣ calcium ምስል ማንሳት እና እንቅስቃሴን ማገድ ከዚያ የአንድ ትርጉም የተለያዩ ክፍሎችን ፈትነዋል። ነገር ግን የባህሪ፣ ምስል ማንሳት እና እንቅስቃሴን ማገድ cohorts የተለያዩ ነበሩ፤ sample sizes በቅድሚያ አልተወሰኑም፤ መረጃ collection እና ትንተና በዘፈቀደ የተመደበ ወይም blinded አልነበሩም፤ እና ከታሰሩት ዝንቦች ከ10% ያነሱ በacclimation፣ ምላሽ ወይም መከታተያ ችግኝ ተወግደዋል።

እነዚህ ገደቦች ክስተቱን አያጠፉትም። ወሰኑን ይገልጻሉ።

ንጹህ ማጠቃለያ

ታስረው በምናባዊ odor ኮሪደር ውስጥ የሚራመዱ የፍራፍሬ ዝንቦች ሽታውን ትተው ወደ ንጹህ አየር ከወጡ በኋላ በተደጋጋሚ ወደ ድንበሩ ተመለሱ። በክምችት እና ኮሪደር ጂኦሜትሪ ላይ የተደረጉ ለውጦች፣ የተስማማ switching ሞዴል፣ ነርቭ-ነክ ምስል ማንሳት እና optogenetic እንቅስቃሴን ማገድ ዝንቡ ሙሉ ካርታ ሳይሆን አጭር የታወሰ አቅጣጫ እንደሚጠቀም የሚል ትርጉምን ይደግፋሉ። EPG ነርቭ ሴሎች አስፈላጊ የአቅጣጫ አቀማመጥ ማጣቀሻ ሰጡ፣ FC2 እንቅስቃሴ ደግሞ ከአሁኑ ግብ አቅጣጫ ጋር የሚስማማ ነበር። ውጤቱ በቁጥጥር ውስጥ ባለ walking assay ላይ የተገደበ ነው፤ የማስታወሻውን cellular ማከማቻ site አይለይም ወይም በነፃ ተፈጥሯዊ በረራ ተመሳሳይ computation እንዳለ አያሳይም።

ያለ ማጋነን ፍተሻ

ጥናቱ የሚያሳየው:- በclosed-ዑደት tethered assay ውስጥ፣ ዝንቦች ከእንግዲህ ሊሸቱት ወደማይችሉ ምናባዊ odor boundaries ቀጥተኛ መመለሻ አደረጉ። ብዙ የባህሪ controls፣ modeling እና ነርቭ-ነክ perturbations vector-ተኮር ስትራቴጂን ይደግፋሉ።

የተገመተው:- ባህሪው አጭር የአቅጣጫ ማስታወሻ እንደሚጠቀም፣ እና FC2 ሕዝብ እንቅስቃሴ የአሁኑን navigation ግብ እንደሚወክል። የማስታወሻው ይዘት በቀጥታ አልተነበበም።

የማያሳየው:- ሙሉ mental map፣ ሁለንተናዊ olfactory strategy፣ በተፈጥሯዊ plume ውስጥ free-flight አፈጻጸም፣ አንድ የትውስታ-ማከማቻ site ወይም የሰው analogue።

ዋና ገደቦች:- አንድ ዝርያና በቁጥጥር ውስጥ ያለ መሣሪያ፤ በሙከራዎች መካከል የተለያዩ የዝንብ cohorts እና ትንተና units፤ ቀጥተኛ ያልሆኑ calcium ምልክቶች፤ necessity ሙከራዎች እነሱ ብቻ በቂ መሆናቸውን የማያረጋግጡ፤ እና replay ተደርጎ የተስፋፋ naturalistic plume።

አጠቃላይ አንባቢ ምን ያህል እምነት ሊኖረው ይገባል? በዚህ መሣሪያ ውስጥ ቀጥተኛ-መመለሻ ክስተቱ እውነተኛ መሆኑና የአቅጣጫ አቀማመጥ- እና ግብ-related central-ውስብስብ እንቅስቃሴ አስፈላጊ መሆናቸው ላይ ከፍተኛ እምነት። ሞዴሉ እንደ አጭር ማብራሪያ መካከለኛ እምነት። ሳይቀየር ወደ ክፍት አየር የሚዘረጋ ወይም ሙሉ ካርታ የሚለው ማንኛውም የይገባኛል ጥያቄ ላይ ዝቅተኛ እምነት።

ምንጮች

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