The Clean Paper

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

Զեբրային ամադինները կանչերը ընկալում են որպես իմաստ ունեցող կատեգորիաներ — բայց դա դեռ լեզու չէ

Science-ի ուսումնասիրությունը փորձարկել է՝ զեբրային ամադիններն արդյոք պարզապես տարբեր ձայներ են լսում, թե սեփական վոկալ ռեպերտուարը կազմակերպում են վարքային իմաստ ունեցող կատեգորիաներով: Թռչունները տարբերակել են 11 կանչերի տեսակները, ընդհանրացրել դրանք նոր vocalizer-ների վրա և ավելի հաճախ շփոթել նույն սոցիալական ֆունկցիայի կանչերը, քան միայն ակուստիկան կկանխատեսեր: Սա ուժեղ ապացույց է կատեգորիկ և օպերացիոն semantic ընկալման համար, բայց ոչ մարդկային տիպի լեզվի, syntax-ի կամ բառերի:

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

Paper: *Categorical and semantic perception of the meaning of call-types in zebra finches*, Julie E. Elie, Aude de Witasse-Thézy, Logan Thomas, Ben Malit, and Frédéric E. Theunissen, Science 389, 1210-1215 (2025) · DOI: 10.1126/science.ads8482

Այստեղ «իմաստ» բառը շատ ճշգրիտ իմաստով է օգտագործվում

Զեբրային ամադիններին մեր թույլտվությունը պետք չէ սոցիալական կյանք ունենալու համար։ Նրանք ձայն են արձակում, երբ սոված են, բաժանված զուգընկերից, սիրահետում են, վտանգ են զգում, կապ են պահում զուգընկերոջ հետ կամ հակամարտության մեջ են։ Էթոլոգները այդ ձայները կարող են բաժանել **կանչի տեսակների՝** գործնական կատեգորիաների, օրինակ՝ տագնապի, կապի կամ կեր խնդրելու կանչեր, որոնք սահմանվում են թե՛ ձայնային ձևով, թե՛ այն վարքային իրավիճակով, որտեղ թռչունը դրանք օգտագործում է։ Ավելի դժվար հարցն այն է, արդյոք հենց թռչուններն էլ են այդ կանչերը նույն կերպ դասակարգում։

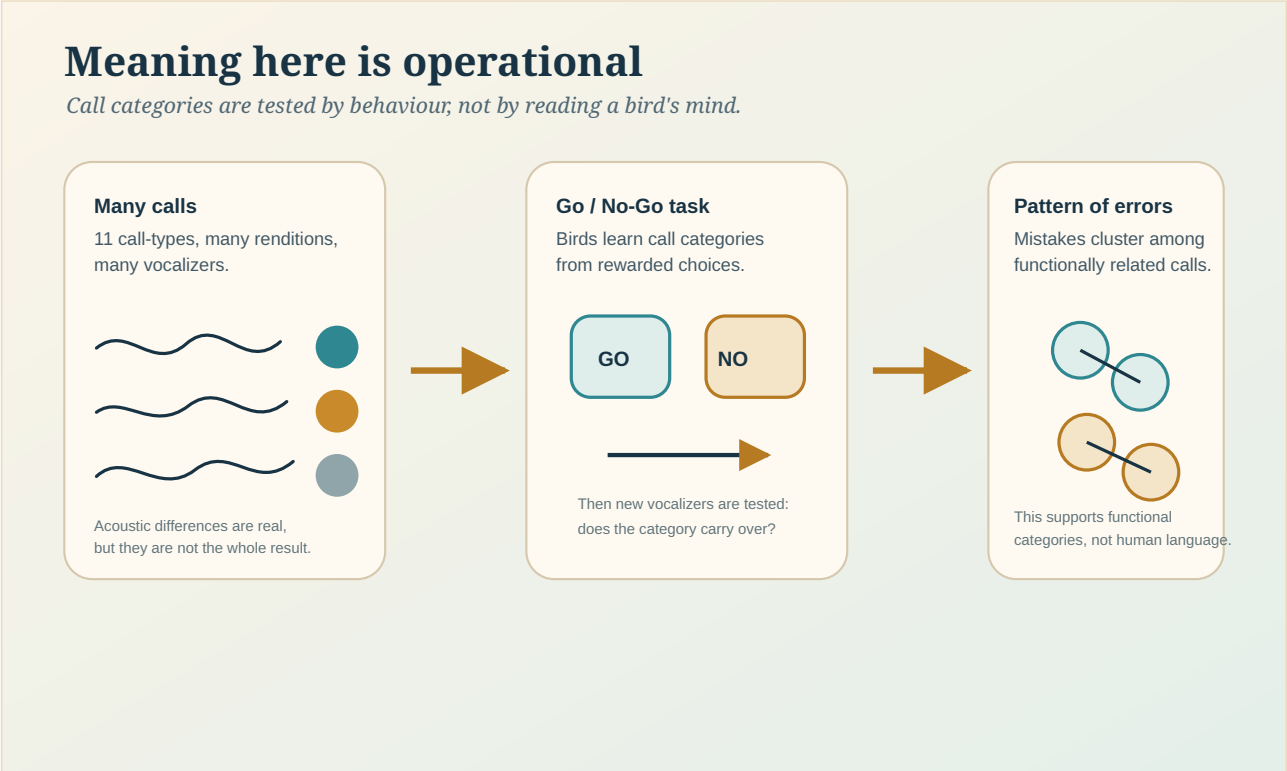
Science-ում հրապարակված աշխատանքը ձևակերպում է նեղ, բայց կարևոր պնդում. մեծահասակ զեբրային ամադինները կարող են տարբերակել իրենց սեփական վոկալ ռեպերտուարի կանչերի տեսակները, իսկ նրանց սխալները ցույց են տալիս, որ վարքային առումով կապված կանչերը թռչունների ընկալողական «տարածքում» միմյանց ավելի մոտ են, քան միայն ակուստիկան կկանխատեսեր։

Հենց այստեղ հոդվածում հայտնվում է **semantic** բառը։ Դա չի նշանակում, որ թռչուններն ունեն մարդկային իմաստով բառեր։ Չի նշանակում syntax, conversation կամ ամադինի ուղեղում թաքնված բառարան։ Այստեղ «իմաստը» օպերացիոն է. եթե երկու կանչ օգտագործվում են նման սոցիալական իրավիճակներում, և թռչունները դրանք ավելի հաճախ են շփոթում, քան միայն ձայնային նմանությունը կբացատրեր, նշանակում է վարքային կատեգորիան ձևավորում է ընկալումը։

Մաքուր ձևակերպումը «թռչուններն ունեն լեզու» չէ։ Ավելի ճիշտ է ասել. զեբրային ամադինները կարծես իրենց կանչերը ընկալում են որպես ֆունկցիոնալ կատեգորիաներ, և դրանցից որոշները փորձի սահմանափակ, ստուգելի իմաստով «իմաստ» են կրում։

Զեբրային ամադինները (*Taeniopygia guttata*) շատ սոցիալական երգեցիկ թռչուններ են՝ կանչերի հարուստ ռեպերտուարով, ինչը նրանց հարմար մոդել է դարձնում կենդանիների վոկալ ազդանշանների դասակարգումը ուսումնասիրելու համար։

Christoph Moning / iNaturalist CC BY 4.0



Ապացույցների շղթայի սխեմա. 11 կանչի տեսակների բազմաթիվ տարբերակներ մտնում են Go/No-Go տարբերակման առաջադրանք, հետո ստուգվում է ընդհանրացումը նոր վոկալիզացնողների վրա, իսկ հիմնական արդյունքն այն է, որ սխալները խմբավորվում են կանչի ֆունկցիայի, ոչ միայն ակուստիկ նմանության համաձայն:

The Clean Paper CC BY 4.0

Ի՞նչ էին ստուգում հեղինակները

Հեղինակները սկսել են զեբրային ամադինի վոկալ ռեպերտուարի արդեն գոյություն ունեցող էթոլոգիական քարտեզից: Տեսակն ունի մոտ **11 ethogram-based կանչի տեսակ**՝ կապի, զույգային կապի և բնի վարքագծի, տագնապի, ագրեսիայի կամ ոչաֆիլիատիվ վարքի, կեր խնդրելու և արուի երգի հետ կապված կանչեր:

Այս դասակարգումը կազմել են մարդիկ: Այն համադրում է ակուստիկ հատկությունները, այն իրավիճակը, որտեղ ձայնն արտադրվում է, և սոցիալական կյանքում դրա սովորական դերը: Բայց մարդու կազմած ethogram-ը ինքնաբերաբար կենդանու մտավոր քարտեզը չէ: Ուսումնասիրությունն առաջադրում է երեք կապակցված հարց:

Առաջին՝ կարո՞ղ են զեբրային ամադինները տարբերակել այս բոլոր կանչերի տեսակները:

Երկրորդ՝ արդյոք նրանք կանչի կատեգորիան ընդհանրացնո՞ւմ են նախկինում չլսած անհատների ձայների վրա, այլ ոչ պարզապես հիշում առանձին օրինակներ:

Երրորդ՝ սխալվելու դեպքում նրանց սխալները հետևո՞ւմ են միայն ակուստիկ նմանությանը, թե նաև կանչերի վարքային իմաստին։

Կարևորն այն է, որ փորձը չի խնդրում թռչնին «բացատրել», թե ինչ է նշանակում կանչը։ Այն ստուգում է՝ արդյոք վերահսկվող առաջադրանքում թռչնի վարքը թողնում է կատեգորիաների և իմաստի վիճակագրական հետք։

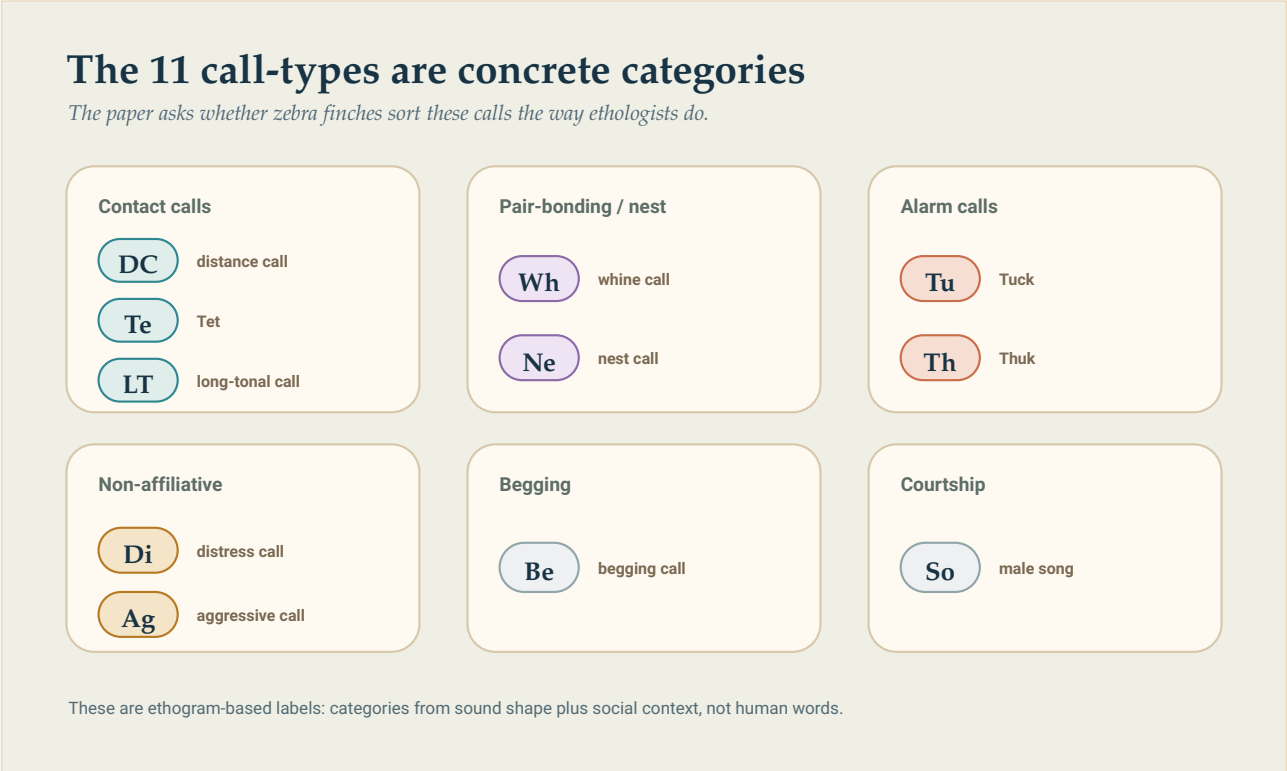
Ինչպե՞ս է աշխատում փորձը

Այս աշխատանքում երեք տերմին շատ կարևոր են։

Կանչի տեսակը զեբրային ամադինի ձայնային կատեգորիա է։ Աշխատանքը օգտագործում է **ethogram-based** տեսակներ՝ կատեգորիաներ, որոնք վերցված են վարքային կատալոգից և հաշվի են առնում ձայնի ակուստիկան, այն իրավիճակը, որտեղ այն արտադրվում է, և սոցիալական ֆունկցիան։ **Vocalizer**-ը պարզապես ձայնագրած կանչը արտաբերած կոնկրետ թռչունն է։ **Ակուստիկ ձևը** չափելի ձայնային օրինաչափությունն է, իսկ **վարքային ֆունկցիան**՝ այն, թե ինչի համար է կանչը սովորաբար օգտագործվում։

Փորձարկված 11 կանչերի տեսակներն էին՝

- **Կապի կանչեր**՝ հեռավորության կանչ (հեռավորություն call, DC), Tet (Te), երկարատոն կանչ (long-tonal call, LT)։
- **Զույգային կապ և բնի վարք**՝ նվնվոցի կանչ (whine call, Wh), բնի կանչ (nest call, Ne)։
- **Տագնապի կանչեր**՝ Tuck (Tu), Thuk (Th)։
- **Ոչ աֆիլիատիվ կանչեր**՝ տագնապի կանչ (distress call, Di), ագրեսիվ կանչ (aggressive call, Ag)։
- **Կեր խնդրել**՝ begging call (Be)։
- **Սիրահետում**՝ արուի երգը (So)։



Աշխատանքում փորձարկված 11 կանչերի տեսակները՝ խմբավորված լայն սոցիալական ֆունկցիաներով: Սրանք աղբյուր հոդվածի ethogram-based կատեգորիաներն են, ոչ «բառեր». դրանք պարզապես կոնկրետ ռեպերտուարն են, որը թռչունները պետք է տարբերակեին:

The Clean Paper CC BY 4.0

Հիմնական առաջադրանքը **Go/No-Go լսողական տարբերակում** էր: Թռչունը լուսավորված կոճակը կտցահարում էր՝ վեցվայրկյանանոց ձայնագրությունը սկսելու համար: Պարգևատրվող կանչի դեպքում ճիշտ քայլը սպասելն էր. ձայնի ավարտից հետո կերի տարան բարձրանում էր, և թռչունը սերմ էր ստանում: Չպարգևատրվող կանչի դեպքում սպասելը ոչինչ չէր տալիս. ավելի արդյունավետ էր ձայնի ընթացքում նորից կտցահարել, ընդհատել այն և սկսել հաջորդ փորձը: Այսպիսով ընդհատումների օրինաչափությունը ցույց էր տալիս, թե որ ձայներն է թռչունը համարում «ոչ պարգևատրվող կատեգորիա»:

Յուրաքանչյուր թեստում մեկ կանչի տեսակ պարգևատրվում էր, մյուս տասը՝ ոչ: Հետո հեղինակները հերթով փոխում էին պարգևատրվող տեսակը՝ անցնելով ամբողջ ռեպերտուարով: Օգտագործվում էին նաև բազմաթիվ տարբերակներ բազմաթիվ vocalizer-ներից, և ճիշտ նույն ձայնագրությունները քիչ էին կրկնվում: Այսինքն՝ թռչունը չէր կարող պարզապես հիշել մեկ recording: Լավ կատարելու համար այն պետք է սովորեր, թե տարբեր անհատների տարբեր ձայների մեջ ինչն է համարվում նույն կանչի տեսակը:

Հետագայում կառուցված «ընկալողական տարածքը» ուղեղի պատկեր կամ կենդանու ներսում բառացի քարտեզ չէ: Դա սխալներից վերականգնված քարտեզ է: Եթե երկու կանչի տեսակ հաճախ են շփոթվում, վարքային այդ քարտեզում դրանք տեղադրվում են ավելի մոտ: Հեղինակները դա համեմատել են միայն ձայնային հատկանիշներով

կառուցված ակուստիկ քարտեզի հետ: Պնդումը հետաքրքիր է դառնում միայն այն դեպքում, եթե թռչունների սխալների քարտեզը ձգվում է դեպի կանչի ֆունկցիան, ոչ միայն դեպի ձայնային նմանությունը:

Ի՞նչ գտան

Թռչունները կարողացան տարբերակել ամբողջ ռեպերտուարը: Տասներկու մեծահասակ զեբրային ամադին՝ վեց արու և վեց էգ, փորձարկվել են 11 կանչերի տեսակներով: Գրեթե բոլոր թեստերն հաջող էին՝ **131-ից 127** տարբերակման թեստերում արդյունքը վիճակագրորեն նշանակալի էր: Ձախողված մի քանի դեպքերը վերաբերում էին կոնկրետ թռչունների և կոնկրետ կանչերի, բայց ընդհանուր պատկերը պարզ էր՝ յուրաքանչյուր կանչի տեսակ տարբերակվում էր պատահական մակարդակից բարձր:

Սա կարևոր է, որովհետև ռեպերտուարը առանձին «բիպերի» կոկիկ հավաքածու չէ: Որոշ կանչեր ակուստիկորեն խմբավորված են, որոշներն աստիճանաբար անցնում են մեկը մյուսին: Թռչուններն այնուամենայնիվ սովորեցին կատեգորիաները:

Նրանք կատեգորիաները ընդհանրացրին նոր vocalizer-ների վրա: Երկրորդ փորձում թռչունները սովորեցին տարբերակել երկու կանչի տեսակ՝ քիչ թվով անհատների ձայներով: Հաջորդ օրը նույն պարգևատրման կանոնով ավելացվեցին նոր vocalizer-ներ: Թռչունները նոր ձայները ճիշտ դասակարգեցին թեստի վաղ փուլերում՝ նախքան հետադարձ կապից յուրաքանչյուր նոր օրինակը սովորելու հնարավորություն ունենալը: Սա աջակցում է հենց կանչի տեսակի կատեգորիկ ընկալմանը, ոչ միայն առանձին ձայների հիշողությանը:

Կատեգորիան կարող էր նույնիսկ հակասել նոր պարգևատրման կանոնին: Ամենաուժեղ վարքային փորձը incongruent պայմանն էր: Նոր vocalizer-ների կանչերին տրվեց հակառակ պարգև contingency՝ նախորդում սովորած կանչի կատեգորիայի համեմատ: Եթե թռչունները պարզապես հետևեին նոր ձայնային օրինակներին, պետք է արագ փոխեին վարքը: Փոխարենը վաղ պատասխանները հետևում էին նախապես սովորած կանչի կատեգորիային և համակարգված սխալ պարգև որոշումներ էին տալիս: Օրվա ընթացքում նրանք աստիճանաբար սովորեցին նոր, կամայական կանոնը: Սա հենց այն է, ինչ սպասելի էր, եթե բնական կանչի կատեգորիան բավական ուժեղ լիներ նոր կանոնին խանգարելու համար:

Սխալները միայն ակուստիկ չէին: Հեղինակները համեմատեցին ձայնային classifier-ի շփոթություններից կառուցված ակուստիկ տարածքը թռչունների վարքային սխալներից կառուցված ընկալողական տարածքի հետ: Երկուսն իրար հետ կապված էին՝ ձայնը շարունակում էր կարևոր լինել: Բայց նույն վարքային կամ semantic hyper-կատեգորիային պատկանող կանչերը թռչունների ընկալողական տարածքում ավելի մոտ էին իրար, քան ակուստիկ քարտեզում: Աշխատանքը դա անվանում է **semantic magnet ազդեցություն**:

Թվերով՝ semantic hyper-կատեգորիաով խմբավորումը ընկալողական քարտեզում

մոտ **2.43 անգամ ավելի ուժեղ** էր, քան ակուստիկ քարտեզում: Պարզ ասած՝ թռչունների սխալները ձգվում էին դեպի ֆունկցիոնալ իմաստը, ոչ միայն նման ձայնը:

Ի՞նչ է այստեղ նշանակում «semantic»

Սա ամենաշատ զգուշություն պահանջող հատվածն է: Սովորական խոսքում «semantic»-ը շատ արագ վերածվում է «բառերի»: Այս աշխատանքը դա չի ապացուցում:

Այստեղ «semantic»-ը օգտագործվում է վարքային և comparative-ճանաչողական ունակություններ իմաստով: Կանչի տեսակն ունի ենթադրվող իմաստ, որովհետև կապված է սոցիալական ֆունկցիայի հետ՝ տագնապ, կապ, կեր խնդրել, ագրեսիա, զույգային կապ, սիրահետում: Եթե թռչունները նույն լայն սոցիալական կատեգորիայի երկու կանչ ավելի հաճախ են շփոթում, քան ակուստիկան կկանխատեսեր, ապա նրանց ընկալողական տարածքը ձևավորվում է այդ ֆունկցիոնալ կատեգորիայով:

Սա լուրջ արդյունք է: Այն հուշում է, որ թռչունը պարզապես spectrogram չի «լսում»: Տեսակին հատուկ կանչերը ընկալվում են վարքային կազմակերպված կատեգորիաներով:

Բայց ապացույցը դեռ անուղղակի է: Հեղինակները չեն կարող կարդալ կենդանու միտքը և դա բացահայտ ասում են: Ներքին ներկայացումները եզրակացվել է են վարքից՝ տարբերակումից, ընդհանրացումից և համակարգված սխալներից:

Օգտակար անալոգիան «ամադինի բառերը» չէ: Ավելի ճիշտ է ասել, որ թռչնի լսողական համակարգում կանչերի միջև «հեռավորությունը» կարծես փոխվում է ըստ նրա, թե այդ կանչերը ինչի համար են օգտագործվում:

Ի՞նչ սա *չի* ապացուցում

- Սա **չի ցույց տալիս մարդկային տիպի լեզու**: Այստեղ syntax, grammar, compositional meaning կամ բաց վերջավորությամբ բառապաշար չկա:
- Սա **չի ցույց տալիս**, որ զեբրային ամադիններն ունեն «բառեր»: Կանչերի տեսակները տեսակին հատուկ վոկալ կատեգորիաներ են՝ կապված վարքային իրավիճակների հետ, ոչ ազատորեն վերակցվող սիմվոլիկ պիտակներ:
- Սա **չի ցույց տալիս** մարդկանց հետ conversation կամ թռչունների հետ խոսելու «decode արված» ալիք:
- Սա **ուղղակիորեն չի չափում մտավոր վիճակները**: Իմաստը եզրակացվել է առաջադրանքի վարքից և սխալների կառուցվածքից, ոչ կենդանու մտքի ներսից դիտված:
- Սա **չի ցույց տալիս, որ թռչունները սովորեցին նոր իմաստներ**: Նոր vocalizer-ների վրա ընդհանրացումը նույն կանչի տեսակի կատեգորիայի ընդհանրացում

է տարբեր անհատների ձայների վրա։
- Սա **չի լուծում**, թե ինչպես են այս կատեգորիաները զարգանում։ Փորձարկվել են մեծահասակ թռչուններ, իսկ ազդեցությունի և զարգացման ազդեցությունը semantic magnet ազդեցության վրա մնում է ապագա աշխատանքի թեմա։

Որքա՞ն ուժեղ է ապացույցը

Կանչերի կատեգորիկ ընկալման համար ապացույցը ուժեղ է։ Դիզայնը թռչուններին ստիպում է տարբերակել ամբողջ ռեպերտուարը, օգտագործում է բազմաթիվ recording-ներ բազմաթիվ անհատներից և ներառում է ընդհանրացման թեստ, որտեղ նոր vocalizer-ների ձայները դասակարգվում են ըստ կանչի տեսակի։ Incongruent պարգև պայմանը հատկապես օգտակար է, որովհետև ցույց է տալիս՝ բնական կատեգորիան կարող է խանգարել նոր կամայական կանոնին։

Semantic ընկալման օպերացիոն ձևի համար ապացույցը լավ է, բայց ավելի ինֆերենցիոն։ Semantic magnet ազդեցությունը պարզապես փոխաբերություն չէ. հեղինակները համեմատում են ակուստիկ և վարքային հեռավորություն քարտեզերը և գտնում, որ վարքային առումով կապված կանչերն ընկալման մեջ ավելի ուժեղ են խմբավորվում, քան միայն ակուստիկայով։ Սա աջակցում է այն գաղափարին, որ կանչի ֆունկցիան ձևավորում է ընկալումը։

Մարդկային տիպի «իմաստի» համար ապացույց չկա, և դրա կարիքն էլ չկա։ Աշխատանքն ավելի հետաքրքիր է, երբ այն մնում է կոնկրետ։ Կենդանական հաղորդակցությունը արժեքավոր դառնալու համար պարտադիր չէ նմանվի մարդկային խոսքին։

Ինչո՞ւ է սա կարևոր

Հանրային գայթակղությունն ակնհայտ է։ Եթե թռչունը կանչը ընկալում է որպես իմաստ ունեցող ազդանշան, հաջորդ վերնագիրն ուզում է հայտարարել, թե «վերծանում ենք կենդանիների լեզուն»։ Այդ թռիչքը շրջանցում է գիտության ամենադժվար մասը։

Ավելի զգույշ արդյունքը ավելի լավն է։ Այն ցույց է տալիս, թե ինչպես կարելի է «իմաստը» փորձարկել՝ առանց ձևացնելու, թե թարգմանում ենք կենդանու միտքը։ Կարելի է հարցնել՝ կենդանիների կատեգորիաները համընկնո՞ւմ են մարդու էթոլոգների դասակարգման հետ, նոր օրինակները դասավորվո՞ւմ են ըստ կատեգորիայի, և սխալները հետևո՞ւմ են ակուստիկ նմանությանը, թե սոցիալական ֆունկցիային։ Այս կերպ հին հարցը՝ կենդանական կանչերը կենդանիների համար որևէ բան «նշանակո՞ւմ» են, դառնում է ավելի փորձարարական և ճշգրիտ։

Այն նաև հեռացնում է քննարկումը կեղծ սանդուղքից, որտեղ մարդիկ ունեն լեզու, իսկ մնացած ամեն ինչ պարզապես աղմուկ է։ Ձեբրային ամադիններն ունեն

փոքր, տեսակին հատուկ վոկալ ռեպերտուար: Այդ ռեպերտուարի ներսում այս աշխատանքը ցույց է տալիս, որ նրանք ընկալում են սոցիալական օգտագործման հետ կապված կառուցվածքային կատեգորիաներ: Դա մեր լեզուն չէ: Դա նրանց հաղորդակցական համակարգն է՝ փորձարկված սեփական պայմաններով:

Կարճ ամփոփում

Science-ի ուսումնասիրությունը մեծահասակ զեբրային ամադիններին փորձարկել է նրանց վոկալ ռեպերտուարի 11 կանչի տեսակներով: Go/No-Go լսողական առաջադրանքներում թռչունները տարբերակել են բոլոր կանչերի տեսակները, սովորած կատեգորիաները ընդհանրացրել նոր vocalizer-ների վրա և incongruent պայմանում սկզբում հետևել կանչի կատեգորիային նույնիսկ այն ժամանակ, երբ դա սխալ պարգև որոշումների էր բերում: Հետո հեղինակները համեմատել են ակուստիկ նմանությունը վարքային սխալների հետ և գտել, որ նույն սոցիալական իրավիճակներում օգտագործվող կանչերը թռչունների ընկալողական տարածքում ավելի ուժեղ են խմբավորվում, քան ակուստիկ տարածքում: Սա աջակցում է կատեգորիկ ընկալմանը և semantic ընկալման օպերացիոն ձևին՝ թռչունները կարծես իրենց կանչերը կազմակերպում են ըստ ֆունկցիոնալ կատեգորիաների, ոչ միայն ձայնի: Դա չի ցույց տալիս մարդկային լեզու, syntax, բառեր, մտավոր վիճակների ուղղակի ընթերցում կամ մարդկանց ու թռչունների միջև conversation:

Առանց չափազանցության

Ի՞նչ է ցույց տալիս աշխատանքը: Մեծահասակ զեբրային ամադինները կարող են տարբերակել իրենց ռեպերտուարի 11 ethogram-based կանչերի տեսակները, այդ կատեգորիաները ընդհանրացնել նոր vocalizer-ների վրա, իսկ նրանց համակարգված սխալները ձևավորվում են վարքային/semantic կատեգորիաներով՝ միայն ակուստիկ նմանությունից ավել:

Ի՞նչն է հավանական, բայց ապացուցված չէ: Որ զեբրային ամադիններն ունեն կանչի իմաստի ներքին ներկայացումներ, որ semantic magnet ազդեցության հիմքում կան համապատասխան neural քարտեզներ, կամ որ զարգացման ու ազդեցությունի միջոցով այս կատեգորիաները ձևավորվում են այլ սովորած perceptual կատեգորիաների նման:

Ի՞նչ չի ցույց տալիս: Մարդկային տիպի լեզու, grammar, բաց վերջավորությամբ բառեր, մարդկային իմաստով symbolic հղումային, subjective mental վիճակների ուղղակի ապացույց կամ մարդկանց կողմից ամադինների հետ խոսելու մեթոդ:

Գլխավոր սահմանափակումները: Լաբորատոր operant առաջադրանքներ **12 մեծահասակ թռչնի** հետ, ոչ բնական դաշտային փոխազդեցություններ: «Semantic»-ը եզրակացվել է վարքից և սխալների կառուցվածքից, զարգացման

հարցը բաց է, իսկ արդյունքը վերաբերում է ֆիքսված տեսակային ռեպերտուարին, ոչ ճկուն compositional լեզուին:

Որքա՞ն վստահություն պետք է ունենա ընդհանուր ընթերցողը: Բարձր՝ որ այս առաջադրանքում զեբրային ամադինները իսկապես տարբերակում և դասակարգում են իրենց կանչերի տեսակները: Լավ՝ որ սխալներում արտացոլվում են ֆունկցիոնալ կատեգորիաներ, ոչ միայն ակուստիկ նմանություն: Ցածր՝ եթե դրանից ցանկանում ենք եզրակացնել մարդկային իմաստով «թռչնային լեզու»: Ճիշտ դիրքորոշումը՝ ուժեղ կենդանիճանաչողական ունակություններ արդյունք իմաստ ունեցող վոկալ կատեգորիաների մասին, ոչ Dr. Dolittle-ի պահ:

Աղբյուրներ

Science 389, 1210-1215 (2025)
https://doi.org/10.1126/science.ads8482

Author manuscript in PMC — PMCID PMC12721838
https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12721838/

Behavioral data and analysis code — Zenodo
https://zenodo.org/records/13623969

Zebra finch acoustical database — Figshare
https://doi.org/10.6084/m9.figshare.11905533.v1