

Noves pistes sobre com es propaguen les forces físiques a les neurones

Partint d'un projecte pilot nascut de la curiositat, investigadors de l'ICFO i els seus col·laboradors han acabat descobrint nous indicis sobre com es propaguen les tensions físiques (que poden codificar informació mecànica) a través de les membranes de les neurones. En un article publicat a *Nature Physics*, l'equip presenta la descripció més detallada fins ara d'aquest procés, el qual resulta clau per explicar com es desenvolupen diversos processos biològics fonamentals, des del desenvolupament embrionari fins al sentit del tacte.

L'estudi se centra en dos receptors sensorials diferents de les neurones del cuc *Caenorhabditis elegans*, mostrant que difereixen en la manera de propagar la tensió. Més sorprenentment, els investigadors han descobert que no només la presència d'obstacles a la membrana cel·lular, sinó també la seva disposició modifica la distància màxima a la qual la tensió pot arribar. Així, la disposició dels obstacles actua com un interruptor regulador: po

mantenir els senyals concentrats i localitzats o permetre que l'informacio mecanica recorri distancies mes grans al llarg de la neurona.

October 29, 2025

Com es desenvolupen els embrions? Per que es plega l'escorça del cervell dels mamífers? Com sentim el tacte a les puntes dels dits? Aquestes i altres preguntes biològiques fonamentals continuen obertes. Tanmateix, els científics i científiques saben que hi ha un principi comú en totes elles: la conversió d'un estimul físic en un senyal bioquímic. El camp de la mecanobiologia ha obtingut recentment nous indicis sobre quins senyals físics viatgen a través de les cel·lules i fins on es propaguen. Un dels descobriments clau es que les propietats reològiques de la membrana cel·lular (com es deforma i flueix quan se li aplica una força física) tenen un paper central en aquesta propagació. Tot i això, molts detalls d'aquest mecanisme complex continuen sense estar clar

. **Dr. Frederic Catala-Castro** i la **Dra. Neus Sanfeliu-Cerdan** de l'ICFO, dirigits pel **Prof. del ICFO Michael Krieg**, juntament amb el grup del Prof. Rangamani de la Universitat de Califòrnia a San Diego, han aportat ara nova llum sobre **com les neurones transmeten pressions i tensions a través de les seves membranes**. En un article a Nature Physics, presenten **la descripció més detallada fins ara dels processos moleculars que sustenten aquest fenomen**. L'estudi se centra en dos mecanoreceptors diferents en el cuc anomenat *Caenorhabditis elegans*: els receptors tàctils, que responen molt ràpidament al contacte, i els propioceptors, que detecten deformacions ràpides del propi cos durant el moviment.

La curiositat va donar lloc a una pista científica valuosa

Curiosament, aquesta investigació va començar com un projecte secundari per al grup, motivat per informes contradictoris a la literatura. **¿Els nostres treballs previs se centren en el citoesquelet, però vam començar a preguntar-nos si la membrana plasmàtica també podria transmetre informació mecànica?** **¿Explica el professor Michael Krieg, autor principal de l'estudi.** Per investigar-ho, van utilitzar un sistema de pinces òptiques, una eina basada en feixos llum molt altament enfocats que pot manipular objectes microscòpics i mesurar forces amb una precisió extraordinària. En els seus experiments, els investigadors van unir dues microesferes de plàstic als axons o neurites de les neurones aïllades, van estirar-les amb les pinces òptiques i van mesurar amb gran precisió com la tensió generada viatjava d'una microesfera a l'altra (amb una exactitud en l'ordre de piconewtons i mil·lisegons). Els resultats van mostrar que la propagació de la tensió és més ràpida en els receptors tàctils que en els propioceptors. Curiosament, els investigadors també van descobrir **que la propagació no està influida únicament per la presència d'obstacles a la membrana**

(principalment proteïnes incrustades), **sino també per com estan disposats**.

El modelatge matemàtic, juntament amb les dades experimentals, va revelar que quan els obstacles estan alineats en un patró regular, la propagació queda restringida a distàncies més curtes. Segons els investigadors, una propagació controlada i limitada de la tensió no és necessàriament un inconvenient. Al contrari, pot ajudar les neurones a localitzar amb precisió on s'aplica una força, distingir entre diferents estímuls i generar respostes localitzades sense afectar tota la cel·lula. Això, al seu torn, podria millorar la capacitat de la neurona per al processament sensorial o produir respostes motores més adaptatives. Per altra banda, una disposició aleatòria d'obstacles permet que la tensió viatgi molt més lluny cosa que podria ajudar les cel·lules a distribuir informació mecànica a distàncies més grans. El modelatge 3D desenvolupat al laboratori de Rangamani va ser crucial per revelar el paper de la disposició dels obstacles, ja que va permetre als investigadors integrar finalment les seves múltiples observacions dins d'un marc teòric comú. La variabilitat de les mesures, l'heterogeneïtat cel·lular i l'estocasticitat dels processos moleculars subjacents van suposar reptes significatius per a la interpretació dels resultats. Recorda el professor Krieg. Desenvolupar el model 3D ho va canviar tot. Ens va donar la coherència necessària per extreure conclusions sòlides, convertint una idea en un descobriment emocional.

Cap a un coneixement complet de la propagació de la tensió en neurones

De cara al futur, els investigadors planegen explorar altres interaccions de la cel·lula amb el seu entorn, moltes de les quals han estat tradicionalment ignorades, així com identificar la naturalesa molecular dels obstacles i com es regulen. Fins i tot podria ser que la mateixa tensió de la membrana plasmàtica reguli els obstacles, retroalimentant-se en bucles específics,

per exemple. De moment, l'estudi ja suposa un avenç important en la mecanobiologia. La Dra. Eva Kreysing, experta en neurociència del desenvolupament de la Universitat de Cambridge que no va participar en aquesta investigació, va declarar a *Nature Physics*: "Aquest és un article molt oportú. Donat l'important paper que s'ha demostrat que la tensió de la membrana regula la funció cel·lular, és fonamental entendre com de localitzat està aquest paràmetre i fins a quin punt es propaga".

El següent repte serà vincular aquestes intuïcions físiques amb mecanismes moleculars específics, per poder entendre amb més detall la relació entre les forces mecàniques a la membrana i les decisions biològiques que aquestes impliquen.

###

Referència:

F. Catala-Castro, M. Bonilla-Quintana, N. Sanfeliu-Cerdan, P. Rangamani, M. Krieg, Periodic Obstacles Regulate Membrane Tension Propagation to Enable Localized

Mechanotransduction.

DOI: 10.1038/s41567-025-03037-x

Agraiments:

MK acknowledges financial support from the ERC (MechanoSystems, 715243), Human Frontiers Science Program (RGP021/2023), MCIN/ AEI/10.13039/501100011033/ FEDER i¿?

A way to

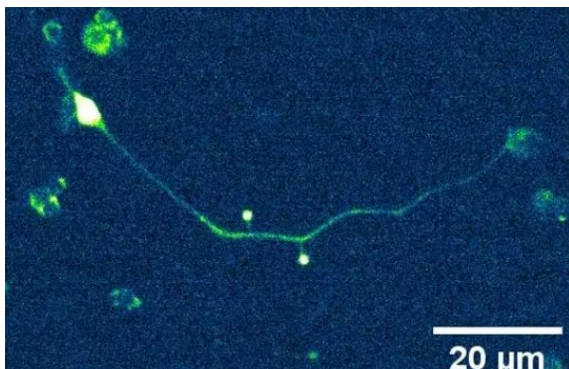
make Europei¿½ (PID2021-123812OB-I00, CNS2022-135906), i¿½Severo Ochoai¿½ program for Centres of

Excellence in R&D (CEX2019-000910-S), from Fundacio Privada Cellex, Fundacio Mir-Puig, and from

Generalitat de Catalunya through the CERCA and Research program. ICFO is the recipient of the Severo

Ochoa Award of Excellence of MINECO (Government of Spain). P.R. was supported by 1RF1DA055668-

01 and the Air Force Office of Scientific Research Grant FA9550-18-1-0051.



Instantania de l'experiment que mostra una neurona aïllada de *Caenorhabditis elegans* amb dues microesferes adherides.