

Image not found

Nuevas pistas sobre como se propagan las fuerzas físicas en las neuronas

Partiendo de un proyecto piloto nacido de la curiosidad, investigadores del ICFO y sus colaboradores han acabado descubriendo nuevos indicios sobre como se propagan las tensiones físicas (que pueden codificar información mecánica) a través de las membranas de las neuronas. En un artículo publicado en *Nature Physics*, el equipo presenta la descripción más detallada hasta la fecha de este proceso, el cual resulta clave para explicar como se desarrollan varios procesos biológicos fundamentales, desde el desarrollo embrionario hasta el sentido del tacto.

El estudio se centra en dos receptores sensoriales diferentes en las neuronas del gusano *Caenorhabditis elegans*, mostrando que cada uno propaga la tensión de manera distinta. Mas sorprendentemente, los investigadores han descubierto que no solo la presencia de obstáculos en la membrana celular, sino también su disposición, modifica la distancia máxima a la que la tensión puede llegar. Así, la disposición de obstáculos actúa como un interruptor regulador: puede mantener las señales concentradas y localizadas o permitir que la información mecánica recorra mayores distancias a lo largo de la neurona.

October 29, 2025

¿Como se desarrollan los embriones? ¿Por que se pliega la corteza del cerebro de los mamíferos? ¿Como sentimos el tacto en las yemas de los dedos? Estas y otras preguntas biológicas fundamentales permanecen abiertas. Sin embargo, los científicos y científicas saben que hay un principio común en todas ellas: la conversión de un estímulo físico en una señal bioquímica.

a. El campo de la mecanobiología ha obtenido recientemente nuevos indicios sobre que señales físicas viajan a través de las células y hasta donde se propagan. Uno de los hallazgos clave es que las propiedades reológicas de la membrana celular (como se deforma y fluye cuando se le aplica una fuerza física) desempeñan un papel central en dicha propagación.

n. Aun así, muchos detalles de este intrincado mecanismo siguen sin estar claros. **Dr. Frederic Catala-Castro** y la **Dra. Neus Sanfeliu-Cerdan** del ICFO, dirigidos por el **Prof. del ICFO Michael Krieg**, junto con el grupo del Prof. Rangamani en la Universidad de California en San Diego, han aportado ahora nueva luz sobre **como las neuronas transmiten presiones y tensiones a través de sus membranas**. En un artículo en Nature Physics, presentan **la descripción más detallada hasta la fecha de los procesos moleculares que sustentan este fenómeno**. El estudio se centra en dos mecanorreceptores distintos en el gusano llamado *Caenorhabditis elegans*: los receptores táctiles, que responden muy rápidamente al contacto, y los propioceptores, que detectan deformaciones rápidas del propio cuerpo durante el movimiento.

La curiosidad condujo a una pista científica valiosa

Curiosamente, esta investigación comenzó como un proyecto secundario para el grupo, motivado por informes contradictorios en la literatura. **¿Nuestros trabajos previos se centraban en el citoesqueleto, pero empezamos a preguntarnos si la membrana plasmática también podría transmitir información mecánica?** **¿**explica el profesor Michael Krieg, autor principal del estudio.

io. Para investigarlo, utilizaron un sistema de pinzas ópticas, una herramienta basada en haces láser altamente enfocados que puede manipular objetos microscópicos y medir fuerzas con una precisión extraordinaria. En sus experimentos, los investigadores unieron dos microesferas de plástico a los axones o neuritas de las neuronas aisladas, tiraron de ellas con las pinzas ópticas y midieron con gran precisión cómo viajaba la tensión generada de una microesfera a la otra (con una exactitud en el rango de piconewtons y milisegundos). Los resultados mostraron que la propagación de la tensión es más rápida en los receptores táctiles que en los propioceptores. Curiosamente, los investigadores también descubrieron **que la propagación no está influida únicamente por la presencia de obstáculos** en la membrana (principalmente proteínas incrustadas), **sino también por cómo están dispuestos**. El modelado matemático, junto con los datos experimentales, reveló que cuando los obstáculos están alineados en un patrón regular, restringen la propagación a distancias más cortas. Según los investigadores, una propagación controlada y limitada de la tensión no es necesariamente una desventaja. Por el contrario, puede ayudar a las neuronas a localizar con precisión donde se aplica una fuerza, distinguir entre diferentes estímulos y generar respuestas localizadas sin afectar a toda la célula. Esto, a su vez, podría mejorar la capacidad de la neurona para el procesamiento sensorial o producir respuestas motoras más adaptativas. Por otro lado, una disposición aleatoria de obstáculos permite que la tensión viaje mucho más lejos, lo que podría ayudar a las células a distribuir información mecánica a mayores distancias.

El modelado 3D desarrollado en el laboratorio de Rangamani fue crucial para revelar el papel de la disposición de los obstáculos, ya que permitió a los investigadores integrar finalmente

sus múltiples observaciones bajo un marco teórico común. ¿La variabilidad de las mediciones, la heterogeneidad celular y la estocasticidad de los procesos moleculares subyacentes supusieron retos significativos para la interpretación de los resultados? ¿, recuerda el profesor Krieg. ¿Desarrollar el modelo 3D lo cambió todo. Nos dio la coherencia necesaria para sacar conclusiones sólidas, convirtiendo una idea en un hábito emocionante

Hacia un entendimiento completo de la propagación de la tensión en neuronas

De cara al futuro, los investigadores planean explorar otras interacciones de la célula con su entorno, muchas de las cuales han sido tradicionalmente ignoradas, así como identificar la naturaleza molecular de los obstáculos y cómo se regulan. ¿Incluso podría ser que una propia tensión de la membrana plasmática regule los obstáculos, retroalimentándose en bucle? ¿, especulan. Por ahora, el estudio ya supone un avance importante en la mecanobiología. La Dr. Eva Kreysing, experta en neurociencia del desarrollo de la Universidad de Cambridge que no participo en esta investigación, declaró en *Nature Physics*: ¿Este es un artículo muy oportuno. Dado el importante papel que se ha demostrado que tiene la tensión de la membrana en la regulación de la función celular, es fundamental entender cómo se localiza este parámetro y hasta qué punto se propaga? ¿. El siguiente desafío será vincular estas intuiciones físicas con mecanismos moleculares específicos, pudiendo así entender con más detalle la relación entre las fuerzas mecánicas en la membrana y las decisiones biológicas que estas impulsan

###

Referencia:

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

Agradecimientos:

MK acknowledges financial support from the ERC (MechanoSystems, 715243), Human Frontiers Science Program (RGP021/2023), MCIN/AEI/10.13039/501100011033/FEDER ¿? A way to make Europe ¿? (PID2021-123812OB-I00, CNS2022-135906), ¿Severo Ochoa ¿? program for Centres of Excellence in R&D (CEX2019-000910-S), from Fundació Privada Cellex, Fundació 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.

Image not found

Instantanea del experimento que muestra una neurona aislada de *Caenorhabditis elegans* con dos microesferas adheridas.