

Die Balance des Lernens

Studie im Hippocampus zeigt: Hemmende Synapsen sind an Dendriten und Axonanfang unterschiedlich stabil

Unser Gehirn muss Neues lernen können, ohne bereits gespeicherte Informationen oder die Stabilität seiner Netzwerke zu verlieren. Forschende des Leibniz-Instituts für Neurobiologie (LIN) in Magdeburg haben gemeinsam mit Partnern in Bielefeld und Zürich untersucht, wie diese Balance gelingt. Sie zeigen: Lernen verändert die Stabilität hemmender Synapsen je nach ihrer Position an derselben Nervenzelle gegensätzlich.

An den Dendriten, der Eingangsseite der Nervenzelle, werden hemmende Synapsen nach dem Lernen häufiger neu organisiert. Am Axonanfang, wo die Zelle ihr eigenes elektrisches Signal erzeugt, werden sie dagegen stabiler. Diese räumliche Arbeitsteilung könnte dazu beitragen, neue Informationen zu verarbeiten und gelernte Informationen zugleich zuverlässig abrufbar zu halten. Die Studie ist jetzt in Nature Communications erschienen.

Eingang und Ausgang reagieren unterschiedlich

Über ihre verzweigten Fortsätze, die Dendriten, nehmen Nervenzellen Signale anderer Zellen auf und verarbeiten sie. Am Axonanfang entscheidet sich, ob daraus ein eigenes elektrisches Signal entsteht, das die Nervenzelle weitergibt. Hemmende Synapsen regulieren diesen Informationsfluss und können deshalb je nach ihrer Position an unterschiedlichen Stellen in die Verarbeitung eingreifen.

Die Forschenden beobachteten, dass Lernen diese Synapsen je nach Position unterschiedlich verändert: An den Dendriten wurden sie häufiger neu organisiert, am Axonanfang blieben sie stabiler. Ihre Gesamtzahl veränderte sich kaum.

Damit deutet die Studie auf eine räumliche Arbeitsteilung innerhalb derselben Nervenzelle hin: Während die hemmende Verschaltung auf der Eingangsseite flexibler wird, bleibt sie an der Ausgangsseite stabiler.

„Überraschend ist, dass hemmende Synapsen innerhalb derselben Nervenzelle nicht einheitlich auf Lernen reagieren“, sagt Alessio Attardo vom LIN. „Ihre genaue Position scheint mitzubestimmen, ob sie umgebaut oder stabilisiert werden. Das gibt uns einen neuen Blick darauf, wie ein Nervenetzwerk gleichzeitig plastisch und stabil bleiben kann.“

Dieselben Synapsen über 13 Tage im Blick

Für die Studie beobachteten die Forschenden hemmende Synapsen im Hippocampus von 23 Mäusen über einen Zeitraum von 13 Tagen. Mithilfe der 2-Photonen-Mikroskopie konnten sie immer wieder zu denselben Nervenzellen und Kontaktstellen zurückkehren. So ließ sich direkt verfolgen, welche Synapsen bestehen blieben, welche verschwanden und wo neue entstanden.

Insgesamt erfasste das Team mehr als 1.100 hemmende Kontaktstellen an Dendriten, Zellkörpern und am Axonanfang. Während des Untersuchungszeitraums absolvierten die Tiere eine Lernaufgabe: Sie lernten, einen Ton und eine bestimmte Umgebung mit einem später folgenden aversiven Reiz zu verknüpfen. Bei dieser Form des Lernens spielt der Hippocampus eine wichtige Rolle.

Die wiederholten Aufnahmen machten sichtbar, wie sich dieselben hemmenden Synapsen vor und nach dem Lernen veränderten. Entscheidend war dabei nicht eine deutliche Veränderung ihrer Gesamtzahl, sondern ihre unterschiedliche Stabilität an verschiedenen Stellen der Nervenzelle.

Das Modell grenzt mögliche Mechanismen ein

Die Studie verbindet experimentelle und theoretische Ansätze. In enger Zusammenarbeit der Forschungsgruppen von Alessio Attardo und Stefan Remy am LIN entstanden die Lernexperimente, Langzeitaufnahmen und Datenauswertungen. Forschende der Universitäten Bielefeld und Zürich ergänzten das Projekt mit mathematischer Modellierung und spezialisierter Bildanalyse.

Das mathematische Modell eines Nervenzellnetzwerks zeigte dasselbe Grundmuster wie die experimentellen Daten: stärkere Reorganisation an den Dendriten und größere Stabilität am Axonanfang. Darüber hinaus hilft es einzugrenzen, welche Gruppen hemmender Nervenzellen die Veränderungen in den verschiedenen Bereichen der Nervenzelle vermitteln könnten. Damit liefert es konkrete Ansatzpunkte für weitere Experimente.

Die Studie untersucht grundlegende Mechanismen des Lernens bei Mäusen. Ob vergleichbare Prozesse auch beim Menschen eine Rolle spielen, müssen weitere Untersuchungen klären.

Weitere Informationen

Originalpublikation: <https://doi.org/10.1038/s41467-026-77800-w>

Förderhinweis

Die Studie wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), die Schram-Stiftung, die Leibniz-Gemeinschaft, das Deutsche Zentrum für Psychische Gesundheit (DZPG) sowie den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) unterstützt. Weitere Förderung erfolgte durch das Ministerium für Kultur und Wissenschaft des Landes Nordrhein-Westfalen im Rahmen des Projekts SAIL (NW21-059A).

Die Open-Access-Publikation wurde durch Projekt DEAL ermöglicht.

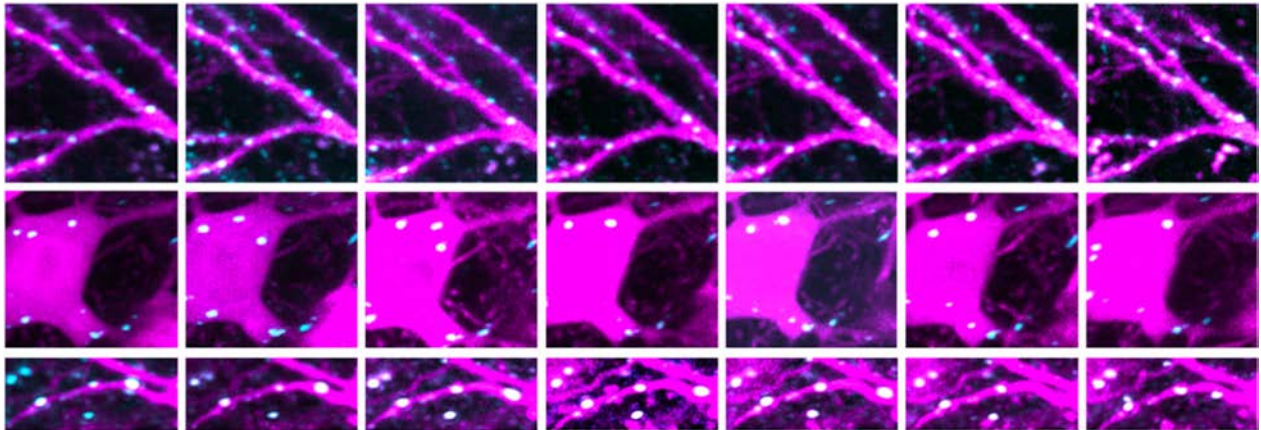
Projektpartner

- Leibniz-Institut für Neurobiologie, Magdeburg
- International Max Planck Research School for Translational Psychiatry, München
- Universität Bielefeld
- Graduate School of Systemic Neurosciences, Ludwig-Maximilians-Universität München
- Universität Zürich und Neuroscience Center Zurich
- Max-Planck-Institut für Psychiatrie, München
- Deutsches Zentrum für Psychische Gesundheit, Standort Halle-Jena-Magdeburg
- Center for Behavioral Brain Science (CBBS), Magdeburg

Über das LIN

Das Leibniz-Institut für Neurobiologie (LIN) in Magdeburg erforscht die Grundlagen von Lernen, Gedächtnis und Verhalten. Forschende aus verschiedenen Disziplinen untersuchen, wie das Gehirn Informationen verarbeitet, speichert und abrufen – von molekularen Vorgängen bis zum Zusammenspiel neuronaler Netzwerke. Damit schaffen sie Grundlagen, um Störungen dieser Prozesse besser zu verstehen und neue Ansätze für Medizin und Technologie zu entwickeln.

www.lin-magdeburg.de



Zeitreihen aus dem Hippocampus lebender Mäuse: Aufnahmen im Abstand von jeweils zwei Tagen zeigen hemmende Synapsen (cyan) an Nervenzellen (magenta). Oben: Dendriten, Mitte: Zellkörper, unten: Axonanfang. Während die Struktur der Nervenzellen stabil bleibt, verändern sich die hemmenden synaptischen Kontaktstellen im Zeitverlauf je nach Bereich der Nervenzelle unterschiedlich stark.