



ΤΙ ΔΕΙΧΝΕΙ ΝΕΑ ΜΕΛΕΤΗ ΕΡΕΥΝΗΤΩΝ ΤΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ ΜΟΡΙΑΚΗΣ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΒΙΟΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΙΤΕ

Ο εγκέφαλος έχει το δικό του GPS

Πώς καταφέρνει ο εγκέφαλός μας να αναγνωρίζει έναν χώρο, να θυμάται μια διαδρομή και να δημιουργεί έναν εσωτερικό «χάρτη» του περιβάλλοντος; Ένα σημαντικό κομμάτι της απάντησης βρίσκεται στον ιππόκαμπο και ειδικότερα σε μια περιοχή που ονομάζεται CA1.

Ερευνητές στο Ινστιτούτο Μοριακής Βιολογίας και Βιοτεχνολογίας (IMBB) στο Ίδρυμα Τεχνολογίας και Έρευνας χρησιμοποίησαν υπολογιστικά μοντέλα για να δείξουν πώς οι νευρώνες του ιππόκαμπου μπορούν να κωδικοποιούν αποτελεσματικά τη θέση μας στον χώρο.

Τα υπολογιστικά μοντέλα τους δείχνουν ότι όταν οι συνάψεις συγκεντρώνονται σε γειτονικές θέσεις, οι δενδρίτες ενεργοποιούνται έντονα, επιτρέποντας στους νευρώνες να «μαθαίνουν» χωρικές πληροφορίες με πολύ λιγότερες ενεργές συνδέσεις.

Μια αξιοσημείωτη αποτελεσματική στρατηγική για τη χαρτογράφηση του χώρου και ένα συναρπαστικό παράδειγμα του τρόπου με τον οποίο ο εγκέφαλος βελτιστοποιεί την επεξεργασία πληροφοριών!

Η έρευνα επικεντρώθηκε στους **πυραμειδικούς νευρώνες της περιοχής CA1 του ιππόκαμπου**, όπου βρίσκονται τα περιβήματα «κύτταρα θέσης» (place cells). Πρόκειται για νευρώνες που ενεργοποιούνται όταν ένα ζώο βρίσκεται σε συγκεκριμένες θέσεις του περιβάλλοντος και θεωρείται ότι συμβάλλουν στη δημιουργία των λεγόμενων **γνωστικών χαρτών** του χώρου.

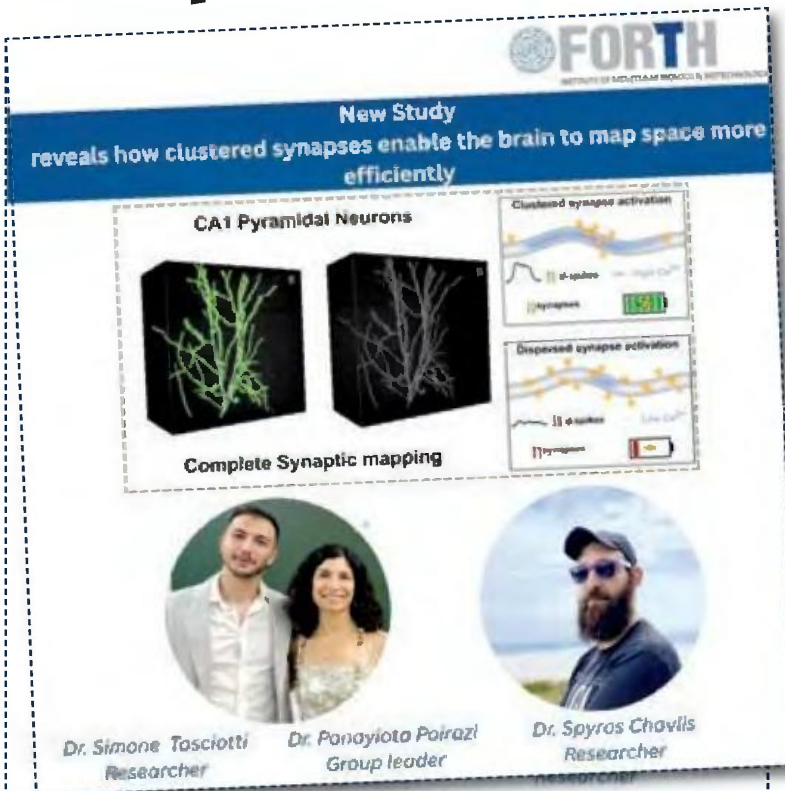
Το εντυπωσιακό εύρημα είναι ότι οι συνάψεις -τα σημεία επικοινωνίας μεταξύ των νευρώνων- **δεν είναι τοποθετημένες τυχαία**.

Οι συνάψεις σχηματίζουν «συστάδες»

Οι ερευνητές χαρτογράφησαν σε τρεις διαστάσεις ολόκληρο το δενδριτικό δέντρο μεμονωμένων νευρώνων CA1 σε ζωντανό οργανισμό, καταγράφοντας τη θέση των διεγερτικών και ανασταλτικών συνάψεων.

Διαπίστωσαν ότι οι **διεγερτικές συνάψεις τείνουν να συγκεντρώνονται σε μικρές χωρικές ομάδες**, ιδιαίτερα στα τελικά τμήματα των κορυφαίων και βασικών δενδριτών. Αντίθετα, οι ανασταλτικές συνάψεις εμφανίζονται πολύ πιο ομοιόμορφα κατανεμημένες.

Αυτή η οργάνωση φαίνεται να έχει σημαντικό λειτουργικό ρόλο.



Όταν πολλές σχετικές διεγερτικές συνάψεις βρίσκονται κοντά μεταξύ τους στον ίδιο δενδριτικό κλάδο, μπορούν να συνεργαστούν και να προκαλέσουν ισχυρές τοπικές αποκρίσεις. Οι δενδρίτες, επομένως, δεν λειτουργούν απλώς σαν παθητικά «καλώδια» που μεταφέρουν σήματα προς το κυτταρικό σώμα. **Μπορούν να πραγματοποιούν σύνθετους υπολογισμούς τοπικά.**

Περισσότερη πληροφορία με λιγότερες ενεργές συνδέσεις

Χρησιμοποιώντας βιοφυσικά υπολογιστικά μοντέλα, οι ερευνητές συνέκριναν δύο διαφορετικές οργανώσεις των συναπτικών εισόδων: τη φυσιολογική, όπου οι συνάψεις είναι ομαδοποιημένες, και μια τυχαία κατανομή, όπου η ίδια πληροφορία είναι περισσότερο διασκορπισμένη.

Το αποτέλεσμα ήταν εντυπωσιακό.

Οι ομαδοποιημένες συνάψεις δημιούργησαν **πιο σταθερά και υψηλότερης ποιότητας place fields**, ενώ χρειαζόνταν περίπου **13% λιγότερες ενεργές διεγερτικές συνάψεις** για να επιτύχουν αντίστοιχο αποτέλεσμα στο κυτταρικό σώμα.

Με απλά λόγια, ο νευρώνας φαίνεται να

μπορεί να κάνει **περισσότερα με λιγότερα**, αρκεί οι συνδέσεις του να είναι οργανωμένες με τον σωστό τρόπο.

Οι δενδρίτες λειτουργούν σαν μικροί υπολογιστές

Η συναπτική ομαδοποίηση δεν ενισχύει μόνο το τελικό ηλεκτρικό σήμα. Ενεργοποιεί επίσης μηχανισμούς που σχετίζονται με την είσοδο ιόντων ασβεστίου (Ca^{2+}) στους δενδρίτες και με την ενεργοποίηση των υποδοχέων NMDA.

Το ασβέστιο έχει ιδιαίτερη σημασία στον εγκέφαλο, καθώς συμμετέχει σε μηχανισμούς **συναπτικής πλαστικότητας**, στις διαδικασίες δηλαδή που επιτρέπουν στις συνδέσεις μεταξύ των νευρώνων να ενισχύονται ή να αποδυναμώνονται και επομένως να συμβάλλουν στη μάθηση και τη μνήμη.

Μάλιστα, όταν οι ερευνητές διέλυσαν τεχνητά την ομαδοποίηση των συνάψεων, η ηλεκτρική διεγερσιμότητα του κυτταρικού σώματος μπορούσε σε μεγάλο βαθμό να αποκατασταθεί, **όχι όμως και η φυσιολογική δυναμική του ασβεστίου στους δενδρίτες**.

Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι η χωρική οργάνωση των συνάψεων μπορεί να έχει ρόλο όχι μόνο στο αν ένας νευρώνας θα «πυροδοτήσει», αλλά και **στο πώς θα τροποποιηθούν οι συνδέσεις του και θα αποθηκευτούν πληροφορίες**.

Η θέση της σύνδεσης **αλλάζει τον τρόπο υπολογισμού**

Ένα ακόμη ενδιαφέρον στοιχείο της μελέτης είναι ότι η θέση των συνάψεων πάνω στο δενδριτικό δέντρο φαίνεται να καθορίζει και την ίδια την υπολογιστική στρατηγική του νευρώνα. Όταν οι συνάψεις είναι ομαδοποιημένες, οι νευρώνες αξιοποιούν περισσότερο τις **μη γραμμικές ιδιότητες των κορυφαίων δενδριτών**. Όταν οι ίδιες εισόδους διασκορπίζονται, το κύτταρο βασίζεται περισσότερο σε μια γενική αθροιστική επεξεργασία των σημάτων στους δενδρίτες. Επομένως, **δεν έχει σημασία μόνο πόσα σήματα δέχεται ένας νευρώνας, αλλά και πού ακριβώς καταλήγουν αυτά τα σήματα**.

Ένας εγκέφαλος που βελτιστοποιεί τους υπολογισμούς του

Τα ευρήματα προσφέρουν μια νέα ματιά στον τρόπο με τον οποίο ο ιππόκαμπος επεξεργάζεται τη χωρική πληροφορία. Η συναπτική ομαδοποίηση φαίνεται να αποτελεί έναν βασικό μηχανισμό που επιτρέπει στους νευρώνες CA1 να δημιουργούν αποτελεσματικούς και σταθερούς χωρικούς χάρτες, αξιοποιώντας παράλληλα τις διαφορετικές υπολογιστικές δυνατότητες των δενδριτικών τους περιοχών.

Η μελέτη αναδεικνύει έτσι μια εντυπωσιακή αρχή της λειτουργίας του εγκέφαλου: **η αποδοτικότητα δεν εξαρτάται μόνο από τον αριθμό των νευρωνικών συνδέσεων, αλλά και από την αρχιτεκτονική τους**.

Οι συνάψεις δεν είναι απλώς «καλώδια» που μεταφέρουν πληροφορίες. Η θέση τους, η οργάνωσή τους και ο τρόπος με τον οποίο συνεργάζονται πάνω στους δενδρίτες μπορούν να αποτελούν μέρος του ίδιου του υπολογισμού.

Και ίσως αυτό είναι ένα από τα πιο συναρπαστικά στοιχεία της νευροεπιστήμης: **ο εγκέφαλος φαίνεται να έχει εξελίξει τρόπους ώστε να μετατρέπει την ίδια του την ανατομία σε υπολογιστικό πλεονέκτημα**.