

Η Συμβολή της Νευροεπιστήμης στη Διδασκαλία των Μαθηματικών: Από τη Γνωστική Θεωρία στην Εκπαιδευτική Πράξη

Σταματία Νικηταρά, Ευγένιος Αυγερινός

Περίληψη

Η σύνδεση της νευροεπιστήμης με την εκπαίδευση αποτελεί έναν τομέα που έχει προκαλέσει έντονο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της προόδου στις μεθόδους απεικόνισης του εγκεφάλου και των νέων ευρημάτων που προκύπτουν από τις έρευνες για τη λειτουργία του. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν νέες εξελιγμένες για να διερευνήσουν τη σύνδεση μεταξύ δομής και λειτουργίας του εγκεφάλου, παρέχοντας αναλυτικές γνώσεις για το πώς οι μαθητές επεξεργάζονται, αποθηκεύουν και ανακαλούν πληροφορίες αλλά και χρήσιμα δεδομένα που μπορούν να ενισχύσουν τις παιδαγωγικές προσεγγίσεις. Η ενσωμάτωση των γνώσεων της νευροεπιστήμης στη διδασκαλία των μαθηματικών προσφέρει πρακτικές και επιστημονικά τεκμηριωμένες στρατηγικές για την υποστήριξη των μαθητών. Εστιάζοντας στη ρύθμιση του άγχους, την ενίσχυση της αυτοπεποίθησης, την καλλιέργεια της μνήμης και τη χρήση πολυαισθητηριακών εργαλείων, οι εκπαιδευτικοί μπορούν επανασχεδιάσουν τη διδασκαλία και τις παιδαγωγικές παρεμβάσεις με βάση τα γνωστικά προφίλ των εκπαιδευομένων. Βοηθά επίσης στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εργάζεται ο εγκέφαλος κατά τη διάρκεια της μάθησης, επιτρέποντας στους εκπαιδευτικούς να υιοθετήσουν εξατομικευμένες παιδαγωγικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν τις αρχές της νευροεπιστήμης και της ψυχολογίας. Οι τελευταίες έρευνες μάλιστα, αναπτύσσουν μεθόδους που ενσωματώνουν αυτά τα δεδομένα στην εκπαιδευτική πράξη και οδηγούν σε καινοτομίες στις παιδαγωγικές στρατηγικές, αλλάζοντας το μέλλον της μαθηματικής εκπαίδευσης.

Abstract

The connection between neuroscience and education has become a field of significant interest in recent years, primarily due to advances in brain imaging methods and new findings emerging from research into brain function. Researchers now employ advanced techniques to explore the link between brain structure and function, offering detailed insights into how students process, store, and retrieve information. These insights also provide valuable data that can enhance pedagogical approaches. The integration of neuroscience knowledge into mathematics teaching offers practical and scientifically grounded strategies to support students. By focusing on anxiety regulation, boosting self-confidence, enhancing memory, and using multisensory tools, educators can redesign teaching and pedagogical interventions based on learners' cognitive profiles. It also aids in understanding how the brain operates during learning, enabling teachers to adopt personalized educational approaches that combine principles from both neuroscience and psychology. Recent research is even developing methods that incorporate this knowledge into educational practice, leading to innovations in pedagogical strategies and transforming the future of mathematics education.

Ιστορική ανασκόπηση: Από τις νευροεπιστήμες στη Γνωστική και Εκπαιδευτική Νευροεπιστήμη

Η Νευροεπιστήμη (Neuroscience) ή Νευροβιολογία (Neurobiology) είναι η επιστημονική μελέτη του νευρικού συστήματος (Ayd, 2000). Σύμφωνα με τον Longstaff (2011) είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος της βιολογίας που ασχολείται με τη βιοχημεία, την ανατομία, τη μοριακή βιολογία, καθώς και τη φυσιολογία των νευρώνων και των νευρικών κυκλωμάτων. Επιπλέον βασίζεται και σε άλλους τομείς, όπως τα μαθηματικά, τη γλωσσολογία, τη φαρμακολογία, την επιστήμη των ηλεκτρονικών υπολογιστών, τη φυσική, τη μηχανική και την ψυχολογία.

Η νευροεπιστήμη έχει εξελιχθεί σημαντικά κατά τις τελευταίες δεκαετίες, μεταβαίνοντας από τη μελέτη των βιολογικών δομών του εγκεφάλου στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ εγκεφαλικών μηχανισμών και γνωστικών λειτουργιών. Η παραδοσιακή νευροεπιστήμη επικεντρώθηκε στην κατανόηση της ανατομίας και της φυσιολογίας του εγκεφάλου, αναλύοντας τη λειτουργία των νευρώνων και των συνάψεων. Με την πρόοδο όμως των τεχνολογιών, όπως η Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (Functional Magnetic Tomography ή fMRI) και η Ηλεκτροεγκεφαλογραφία (Electroencephalogram ή EEG), οι ερευνητές άρχισαν να εξετάζουν πώς οι νευρωνικές δομές σχετίζονται με γνωστικές διεργασίες (Anderson et al., 2014).

Οι εξελίξεις λοιπόν, στη νευροεπιστήμη, ιδιαίτερα στη μελέτη των βλαβών του εγκεφάλου και των ηλεκτροφυσιολογικών καταγραφών, παρείχαν πληροφορίες για τη νευρική βάση της γνώσης. Από τις αρχές του 20ού αιώνα, ο Karl Lashley και ο Donald Hebb προσέφεραν σημαντικά μοντέλα για τη μνήμη και την πλαστικότητα του εγκεφάλου, ενώ η δεκαετία του 1950 σηματοδοτήθηκε από την "γνωστική επανάσταση" (Cognitive Revolution), με τη μετατόπιση του ενδιαφέροντος από τη συμπεριφορική ψυχολογία στην εσωτερική επεξεργασία πληροφοριών (Hebb, 1949).

Η εμφάνιση της γνωστικής νευροεπιστήμης θεμελιώνεται στα μέσα του 20ου αιώνα και ο όρος "γνωστική νευροεπιστήμη" εισήχθη επίσημα τη δεκαετία του 1970 από τους Michael Gazzaniga και George Miller που ξεκίνησαν από τις προσπάθειες σύνδεσης των ευρημάτων της γνωσιακής ψυχολογίας με τη νευροεπιστήμη υποδηλώνοντας την ενοποίηση των γνωστικών θεωριών με νευροεπιστημονικές μεθόδους (Gazzaniga, 1995). Στη συνέχεια η δεκαετία του 1980 σηματοδοτήθηκε από την πρόοδο στις απεικονιστικές τεχνικές, όπως η αξονική τομογραφία (Computed Tomography ή CT) και η μαγνητική τομογραφία (Magnetic Resonance Imaging ή MRI), οι οποίες επέτρεψαν την καλύτερη κατανόηση της λειτουργικής οργάνωσης του εγκεφάλου (Mahmood et al., 2012).

Η ανάπτυξη των τεχνολογιών νευροαπεικόνισης (neuroimaging) τη δεκαετία του 1990 -2010 ενίσχυσε περαιτέρω τη γνωστική νευροεπιστήμη ως ξεχωριστό επιστημονικό κλάδο και η περίοδος αυτή χαρακτηρίζεται από την ανάπτυξη πιο προηγμένων τεχνικών απεικόνισης, οι οποίες παρείχαν μη επεμβατικές μεθόδους για την εξέταση της νευρικής δραστηριότητας in vivo δηλαδή σε πραγματικό χρόνο (Raichle, 1994):

- Η Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (fMRI) επέτρεψε τη μη επεμβατική παρατήρηση της εγκεφαλικής δραστηριότητας κατά την εκτέλεση γνωστικών διεργασιών.
- Η Τομογραφία Εκπομπής Ποζιτρονίων (Positron Emission Tomography ή PET) χρησιμοποιήθηκε για τη χαρτογράφηση των μεταβολικών διεργασιών στον εγκέφαλο και
- Η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG) και μαγνητοεγκεφαλογραφία (Magnetoencephalography ή MEG) προσέφεραν μεγαλύτερη χρονική ακρίβεια στην καταγραφή των νευρωνικών σημάτων.

Σύμφωνα με τους Anderson et al. (2014) το πλαίσιο της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης, η διασύνδεση μεταξύ εγκεφαλικής λειτουργίας και μαθησιακής διαδικασίας αναδεικνύεται ως κρίσιμο πεδίο θεωρητικής και εφαρμοσμένης έρευνας, καθώς προσφέρει τη δυνατότητα μη παρεμβατικής παρακολούθησης και ανάλυσης των εγκεφαλικών μοτίβων που σχετίζονται με τη γνωστική και συναισθηματική εμπλοκή, δημιουργώντας προϋποθέσεις για μια πιο ακριβή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μαθαίνουμε. Το νέο αυτό πεδίο προσέφερε νέες δυνατότητες στη διερεύνηση των γνωστικών λειτουργιών και της μαθησιακής διαδικασίας χρησιμοποιώντας σήμερα τεχνολογίες και λογισμικά όπως η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG), ο διακρανιακός υπέρηχος, το OMNIFIT MindCare και το ET (eye-tracking) που προσφέρουν τη δυνατότητα μη παρεμβατικής παρακολούθησης και καταγραφής της εγκεφαλικής δραστηριότητας δημιουργώντας προϋποθέσεις για μια πιο ακριβή κατανόηση του τρόπου με τον οποίο μαθαίνουν οι άνθρωποι. Μας δίνουν τη δυνατότητα να μελετήσουμε τη συγκέντρωση, το άγχος, το γνωστικό φορτίο και κυρίως να ανιχνεύσουμε μαθησιακές δυσκολίες.

Η γνωστική νευροεπιστήμη και η εκπαίδευση άρχισαν να συνδέονται συστηματικά από τις αρχές του 21ου αιώνα, όταν η πρόοδος στις απεικονιστικές μεθόδους εγκεφάλου άρχισε να αποκαλύπτει πώς οι γνωστικές διεργασίες σχετίζονται με τη μάθηση. Το αναδυόμενο πεδίο της "εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης" επιχειρεί να γεφυρώσει το χάσμα μεταξύ της βασικής επιστήμης του εγκεφάλου και των παιδαγωγικών πρακτικών. Έτσι, κατά τη δεκαετία του 2000 η γνωστική νευροεπιστήμη επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει πεδία όπως η εκπαίδευση και η παιδαγωγική. Οι Ansari & Coch (2006) πρότειναν τη δημιουργία γεφυρών μεταξύ των δύο πεδίων, με στόχο την καλύτερη μετάφραση των νευροεπιστημονικών ευρημάτων σε εκπαιδευτικές πρακτικές, προωθώντας την ιδέα μιας "διπλής κατεύθυνσης" μεταξύ αυτών των δύο τομέων. Η σχέση μεταξύ της γνωστικής νευροεπιστήμης και της εκπαίδευσης προκάλεσε έντονο ενδιαφέρον και οι τομείς αυτοί ήρθαν κοντά μέσω προσπαθειών κατανόησης της νευρολογικής βάσης της μάθησης και της δημιουργίας εκπαιδευτικών παρεμβάσεων βασισμένων σε νευροεπιστημονικά δεδομένα (Ansari & Coch, 2006).

Η εργασία του De Smedt και των συνεργατών του (2010) υποστήριξε ότι η συνεργασία μεταξύ νευροεπιστημόνων και εκπαιδευτικών θα μπορούσε να προσφέρει νέες στρατηγικές για την υποστήριξη της μάθησης. Αυτή η επιστημονική προσέγγιση εξετάζει πώς λειτουργεί ο εγκέφαλος κατά τη μάθηση και πώς οι γνώσεις από τη νευροεπιστήμη μπορούν να εφαρμοστούν στη διδασκαλία και την εκπαιδευτική πολιτική (Howard-Jones, 2014). Ωστόσο, η έρευνα έδειξε ότι υπήρχαν περιορισμοί στις μεθόδους νευροαπεικόνισης, όπως η έλλειψη αντιπροσωπευτικότητας σε δείγματα παιδιών και η δυσκολία εφαρμογής των ευρημάτων σε πραγματικά περιβάλλοντα μάθησης (De Smedt et al., 2010; Grabner & Ansari, 2010).

Η σύνδεση λοιπόν, της γνωστικής νευροεπιστήμης με την εκπαίδευση αποτελεί ένα πεδίο με αυξανόμενο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Οι εφαρμογές της γνωστικής νευροεπιστήμης στο εκπαιδευτικό σύστημα περιλαμβάνουν:

- Βελτιστοποίηση της μάθησης: Μελέτες δείχνουν ότι η ενίσχυση της γνωστικής πλαστικότητας μέσω συγκεκριμένων εκπαιδευτικών τεχνικών μπορεί να βελτιώσει τις μαθησιακές επιδόσεις (Battro et al., 2013).
- Ειδική αγωγή και μαθησιακές δυσκολίες: Οι νευροεπιστημονικές έρευνες συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση διαταραχών, όπως η Δυσλεξία (Dyslexia) και η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής Υπερκινητικότητας ή ΔΕΠΥ (Attention Deficit Hyperactivity Disorder ή ADHD) (Gabrieli, 2009).
- Τεχνολογία και μάθηση: Η χρήση νευροαναδραστικών τεχνολογιών (neurofeedback technologies), όπως τα εγκεφαλικά κύματα, βελτιώνει την προσοχή και τη συγκέντρωση των μαθητών (Tandon & Singh, 2016).

Η χρήση τεχνολογιών, όπως η παρακολούθηση των ματιών (Eye-Tracking) και η νευροαπεικόνιση, έχει οδηγήσει σε βελτιωμένες παιδαγωγικές πρακτικές. Οι μελέτες του Anderson et al. (2014) δείχνουν ότι οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να βοηθήσουν στη διαμόρφωση εξατομικευμένων στρατηγικών μάθησης. Η σύνδεση μάλιστα της μαθηματικής σκέψης με τις γνωστικές διεργασίες μπορεί να εντοπιστεί ήδη από την αρχαιότητα. Ο Πλάτωνας (427–347 π.Χ.) θεωρούσε τα μαθηματικά ως μια εγγενή ικανότητα του ανθρώπινου νου, ενώ ο Αριστοτέλης (384–322 π.Χ.) υποστήριξε ότι η μαθηματική μάθηση βασίζεται στην εμπειρία και την αφαιρετική σκέψη (Scott, 1995). Επίσης, κατά τον 17ο και 18ο αιώνα φιλόσοφοι όπως ο Rene Descartes (1596–1650) και ο Gottfried Leibniz (1646–1716) ανέπτυξαν μαθηματικά συστήματα που βασίζονταν στη λογική και στη συμβολική αναπαράσταση, προετοιμάζοντας το έδαφος για τη σύγχρονη γνωστική επιστήμη (Shapiro, 2000).

Γνωστική Νευροεπιστήμη και μαθηματική σκέψη

Η γνωστική νευροεπιστήμη έχει συνεισφέρει σημαντικά στην κατανόηση της μαθηματικής σκέψης. Έρευνες έχουν εντοπίσει τον κρίσιμο ρόλο του ενδοβρεγματικού αύλακα (Intraparietal Sulcus - IPS) στην επεξεργασία αριθμητικών μεγεθών. Ο Dehaene (1999) ανέπτυξε το "μοντέλο των τριών κωδίκων" για την αναπαράσταση και την επεξεργασία αριθμών, το οποίο περιλαμβάνει το συμβολικό, το λεκτικό και το μη-συμβολικό σύστημα επεξεργασίας αριθμητικών δεδομένων (Dehaene, 1999; Grabner & Ansari, 2010). Ακόμα συγκεκριμένες εκπαιδευτικές παρεμβάσεις, όπως αυτές που παρουσιάζονται σε ερευνητικά προγράμματα μαθηματικών, βασίζονται στη γνωστική νευροεπιστήμη. Μελέτες όπως αυτή των Kroeger, Brown, & O'Brien (2012) έδειξαν ότι εκπαιδευτικά προγράμματα που ενσωματώνουν την κατανόηση της γνωστικής ανάπτυξης είναι πιο αποτελεσματικά, ενώ εστίασαν στις γνωστικές διαδικασίες όπως η μνήμη εργασίας και η εκτελεστική λειτουργία. Πρόσφατα, μελέτες EEG αποκάλυψαν τις διαφορετικές εγκεφαλικές δραστηριότητες που εμπλέκονται σε συμβολικές και μη συμβολικές μαθηματικές διαδικασίες, δίνοντας έμφαση στη λειτουργία της βρεγματικής και της μετωπιαίας περιοχής κατά την επίλυση μαθηματικών αποδείξεων. Αυτό δείχνει ότι η κατανόηση της γνωστικής επεξεργασίας μπορεί να διαμορφώσει νέες στρατηγικές μάθησης.

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, η πρόοδος στις νευροαπεικονιστικές τεχνικές επέτρεψε την ακριβέστερη χαρτογράφηση των εγκεφαλικών μηχανισμών που εμπλέκονται στη μαθηματική επεξεργασία. Μελέτες έδειξαν ότι περιοχές όπως ο βρεγματικός λοβός (parietal lobe), η έλικα του προσαγωγίου (the cingulate gyrus) και ο προμετωπιαίος φλοιός (prefrontal cortex) παίζουν κρίσιμο ρόλο στη μαθηματική σκέψη (Ansari, 2008). Πρόσφατες έρευνες μάλιστα, επικεντρώνονται στη σχέση μεταξύ των μαθησιακών δυσκολιών και της

εγκεφαλικής λειτουργίας, προσφέροντας νέες προοπτικές για την εκπαιδευτική πρακτική (Friedman, 2025; Wang, et al., 2025).

Η σύνδεση της μαθηματικής εκπαίδευσης με την γνωστική νευροεπιστήμη αποτελεί ένα δυναμικό ερευνητικό πεδίο που συνεχώς εξελίσσεται. Η διεπιστημονική συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών, γνωστικών επιστημόνων και νευροεπιστημόνων μπορεί να οδηγήσει σε καινοτόμες διδακτικές προσεγγίσεις, βελτιώνοντας τη μαθηματική μάθηση και την κατανόηση των μηχανισμών που την υποστηρίζουν.

Ο ρόλος των εγκεφαλικών περιοχών που σχετίζονται με την επεξεργασία των αριθμών

Η ικανότητα επεξεργασίας αριθμητικών πληροφοριών είναι θεμελιώδης για πολλές γνωστικές λειτουργίες, από την απλή καταμέτρηση έως τη σύνθετη μαθηματική σκέψη. Πρόσφατες νευροεπιστημονικές μελέτες έχουν αναδείξει συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές που εμπλέκονται στην αριθμητική επεξεργασία (Numerical Processing), με κυρίαρχο ρόλο να διαδραματίζουν ο ενδοπαριακός αυλός, ο προμετωπιαίος φλοιός και οι κροταφικές περιοχές (Menon & D'Esposito, 2022; Sokolowski et al., 2017).

Ο ρόλος του ενδοπαριακού αυλού

Ο ενδοπαριακός αυλός (Intraparietal Sulcus - IPS) αποτελεί την κύρια εγκεφαλική περιοχή που σχετίζεται με την αριθμητική επεξεργασία (Arsalidou & Taylor, 2011). Βρίσκεται στον βρεγματικό λοβό και είναι ζωτικής σημασίας, συγκεκριμένα για την αντίληψη και επεξεργασία ποσοτικών δεδομένων. Νευροαπεικονιστικές μελέτες έχουν δείξει ότι ο IPS ενεργοποιείται κατά την εκτίμηση ποσοτήτων, την αριθμητική σύγκριση και τις μαθηματικές πράξεις, υποδεικνύοντας τον κρίσιμο ρόλο του στην αριθμητική επεξεργασία (Butterworth & Walsh, 2011).

Ο ρόλος του προμετωπιαίου φλοιού

Ο προμετωπιαίος φλοιός (Prefrontal Cortex - PFC) εμπλέκεται κυρίως σε υψηλού επιπέδου αριθμητικές διαδικασίες που απαιτούν γνωστικό έλεγχο και εργασιακή μνήμη (Menon & D'Esposito, 2022). Ιδιαίτερα, ο ραχιοπλάγιος προμετωπιαίος φλοιός (Dorsolateral Prefrontal Cortex - DLPFC) είναι υπεύθυνος για τη διαχείριση πολύπλοκων υπολογισμών και την εφαρμογή στρατηγικών επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων (Sokolowski et al., 2017). Μελέτες λειτουργικής μαγνητικής τομογραφίας έχουν δείξει ότι η αυξημένη δραστηριότητα στον DLPFC συσχετίζεται με βελτιωμένη απόδοση σε απαιτητικά μαθηματικά καθήκοντα, ιδιαίτερα όταν εμπλέκονται προβλήματα πολλαπλών βημάτων (Klein et al., 2013). Εκτός από τις γνωστικές του λειτουργίες, ο προμετωπιαίος φλοιός παίζει σημαντικό ρόλο στη ρύθμιση των συναισθημάτων και της κοινωνικής συμπεριφοράς. Συμβάλλει στην κατανόηση και διαχείριση των συναισθημάτων, καθώς και στην ικανότητα ενσυναίσθησης (Empathy) και κοινωνικής αλληλεπίδρασης. Πρόκειται για μια περιοχή του εγκεφάλου που εμπλέκεται στη γνωστική ρύθμιση, τη λήψη αποφάσεων, την προσαρμογή της συμπεριφοράς και την αναστολή παρορμητικών αντιδράσεων. Διαταραχές στη λειτουργία του PFC έχουν συνδεθεί με προβλήματα στην κοινωνική συμπεριφορά και συναισθηματική ρύθμιση (Numerical Processing), όπως παρατηρείται σε διάφορες νευροαναπτυξιακές διαταραχές (Miller & Cohen, 2001).

Οι κροταφικές περιοχές και η σημασία της γλωσσικής επεξεργασίας

Οι κροταφικοί λοβοί (Temporal Lobes) βρίσκονται στο πλάγιο μέρος του εγκεφάλου, κάτω από τη σχισμή του Sylvius, και παίζουν κρίσιμο ρόλο στη γλωσσική επεξεργασία, τη μνήμη, την ακουστική αντίληψη και τη σημασιολογική γνώση (Price, 2012). Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη γλωσσική επεξεργασία, συμβάλλοντας στην κατανόηση, την παραγωγή και την αποθήκευση της γλώσσας. Οι μελέτες νευροαπεικόνισης και οι κλινικές έρευνες έχουν δείξει ότι οι κροταφικοί λοβοί, και ιδιαίτερα η άνω κροταφική έλικα, εμπλέκονται στην επεξεργασία της σημασιολογίας, της φωνολογίας και της σύνταξης, καθιστώντας τους θεμελιώδεις για τη γλωσσική επικοινωνία (Hickok & Poeppel, 2015).

Μαθηματική Εκπαίδευση

Σχέση γλώσσας και μαθηματικών δεξιοτήτων

Η σχέση μεταξύ γλώσσας και μαθηματικών δεξιοτήτων αποτελεί ένα πεδίο έντονου ερευνητικού ενδιαφέροντος, καθώς η κατανόηση και η επίλυση μαθηματικών προβλημάτων συχνά απαιτούν γλωσσικές ικανότητες. Η σύνδεση μεταξύ της γλώσσας και της ανάπτυξης των μαθηματικών δεξιοτήτων έχει

προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών, καθώς αναγνωρίζεται ότι η γλωσσική ικανότητα επηρεάζει τη μαθηματική σκέψη και την κατανόηση αριθμητικών εννοιών (Vasylets & Marín, 2021).

Οι εκτελεστικές λειτουργίες, όπως η εργαζόμενη μνήμη, η γνωστική ευελιξία και ο ανασταλτικός έλεγχος, σχετίζονται τόσο με τη γλωσσική ανάπτυξη όσο και με τις μαθηματικές δεξιότητες (Michel et al., 2019). Η ανάπτυξη αυτών των λειτουργιών κατά την προσχολική ηλικία μπορεί να επηρεάσει θετικά την απόδοση των μαθητών σε γλωσσικά και μαθηματικά καθήκοντα (Vasylets & Marín, 2021).

Γλώσσα και Ανάπτυξη Μαθηματικών Δεξιοτήτων

Η γλώσσα λειτουργεί ως μέσο έκφρασης μαθηματικών εννοιών και διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη και εφαρμογή τους, ενώ παράλληλα επηρεάζει την ανάπτυξη και την εφαρμογή μαθηματικών δεξιοτήτων (Adams et al., 1999). Σύμφωνα με τον Peng et al. (2020), η γλωσσική κατανόηση στα πρώτα στάδια της εκπαίδευσης παίζει σημαντικό ρόλο στη μαθηματική απόδοση, καθώς η πλειονότητα των μαθηματικών προβλημάτων απαιτεί την κατανόηση γραπτού ή προφορικού λόγου.

Ένας σημαντικός παράγοντας που συνδέει τη γλώσσα με τα μαθηματικά είναι η φωνολογική επεξεργασία, δηλαδή η ικανότητα διάκρισης και χειρισμού των ήχων της γλώσσας. Σύμφωνα με τους Matejko et al., (2023), η φωνολογική επίγνωση συνδέεται με την πρώιμη αριθμητική σκέψη, καθώς τα παιδιά που έχουν δυσκολίες στη διάκριση φωνημάτων εμφανίζουν επίσης χαμηλότερες επιδόσεις στις μαθηματικές πράξεις. Αυτό μπορεί να εξηγηθεί από το γεγονός ότι η κατανόηση των αριθμητικών συμβόλων απαιτεί αντίστοιχες γνωστικές διεργασίες με εκείνες που χρησιμοποιούνται για τη γλωσσική επεξεργασία.

Έρευνες έχουν δείξει ότι η γλωσσική ικανότητα και επάρκεια των μαθητών επηρεάζει την κατανόηση και την επίλυση μαθηματικών προβλημάτων (Michel et al., 2019) γιατί η γλωσσική ανάπτυξη αποτελεί θεμέλιο λίθο για την απόκτηση και κατανόηση μαθηματικών εννοιών. Η μελέτη των Napolí & Purpura (2018) υπογραμμίζει ότι το λεξιλόγιο ενός παιδιού σχετίζεται άμεσα με την ικανότητά του να αντιλαμβάνεται μαθηματικές δομές και μοτίβα. Συγκεκριμένα, τα παιδιά με ευρύτερο μαθηματικό λεξιλόγιο τείνουν να κατανοούν καλύτερα τις σχέσεις μεταξύ αριθμών και μαθηματικών πράξεων.

Η Γλωσσική Κατανόηση και η Μαθηματική Σκέψη

Η γλωσσική κατανόηση είναι καθοριστικός παράγοντας για την επιτυχία στα μαθηματικά. Τα παιδιά πρέπει να είναι σε θέση να ερμηνεύσουν αριθμητικές έννοιες που παρουσιάζονται με λέξεις, όπως "το διπλάσιο του αριθμού 4" ή "ποιος αριθμός είναι μεγαλύτερος από τον 7 αλλά μικρότερος από τον 10;". Σύμφωνα με τους Li et al. (2025), η δυσκολία στην κατανόηση τέτοιων γλωσσικών διατυπώσεων μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη των μαθηματικών δεξιοτήτων, ακόμα και αν τα παιδιά κατανοούν την αριθμητική λογική.

Επιπλέον, η ικανότητα κατανόησης και παραγωγής γραπτού λόγου συνδέεται ακόμα με την ικανότητα επίλυσης μαθηματικών προβλημάτων, υποδηλώνοντας ότι οι μαθητές με ανεπτυγμένες γλωσσικές δεξιότητες ενδέχεται να αντιμετωπίζουν λιγότερες δυσκολίες στα μαθηματικά (Vasylets & Marín, 2021). Για παράδειγμα, η μελέτη του Τάτση (2005) ανέδειξε τη σημασία της μη μαθηματικής γλώσσας και των κοινωνικομαθηματικών νορμών στην από κοινού κατασκευή μαθηματικής γνώσης κατά την επίλυση προβλημάτων.

Οι μεταγλωσσικές δεξιότητες, δηλαδή η ικανότητα συνειδητής ανάλυσης και ελέγχου της γλώσσας, έχουν συσχετιστεί με τη μαθηματική επίδοση (Bergsleithner, 2010). Μαθητές με ανεπτυγμένες μεταγλωσσικές δεξιότητες φαίνεται να επιδεικνύουν καλύτερη κατανόηση μαθηματικών εννοιών, πιθανώς λόγω της ικανότητάς τους να αναλύουν και να επεξεργάζονται πολύπλοκες πληροφορίες (Kormos & Sáfár, 2008).

Η Επίδραση της Γλωσσικής Επικοινωνίας στην Εκπαιδευτική Διαδικασία

Η έρευνα προτείνει ότι όταν οι δάσκαλοι παρέχουν σαφείς εξηγήσεις και συγκεκριμένα παραδείγματα, οι μαθητές αναπτύσσουν μια ισχυρότερη εννοιολογική κατανόηση των μαθηματικών αρχών. Αυτή η προσέγγιση προωθεί τη δυνατότητα μεταφοράς, επιτρέποντας στα παιδιά να εφαρμόζουν έννοιες που έχουν μάθει σε νέες καταστάσεις. Επιπλέον, η χρήση επεξεργασμένων παραδειγμάτων και στρατηγικών

σκαλωσιάς έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει τις δεξιότητες επίλυσης προβλημάτων και τη μακροπρόθεσμη διατήρηση των μαθηματικών γνώσεων (Arizmendi et al. (2021).

Η γλωσσική επικοινωνία διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στη μαθηματική εκπαίδευση, καθώς τα παιδιά μαθαίνουν μαθηματικές έννοιες κυρίως μέσα από την αλληλεπίδραση με εκπαιδευτικούς και συνομηλίκους. Η ενεργή συμμετοχή των μαθητών σε γλωσσικές συζητήσεις σχετικά με μαθηματικά θέματα μπορεί να ενισχύσει τη βαθύτερη κατανόηση των εννοιών (Arizmendi et al., 2021).

Επιπλέον, η ποιότητα της διδασκαλίας επηρεάζει την ικανότητα των μαθητών να συνδέσουν τη γλώσσα με τα μαθηματικά. Σύμφωνα πάλι με τους Arizmendi et al. (2021) οι εκπαιδευτικοί που χρησιμοποιούν αναλυτικές εξηγήσεις και παραδείγματα βελτιώνουν την ικανότητα των παιδιών να εφαρμόζουν μαθηματικές αρχές σε διαφορετικά πλαίσια. Η εφαρμογή, μάλιστα, διδακτικών μεθόδων που συνδυάζουν σαφή διδασκαλία και πολλαπλούς τρόπους αναπαράστασης της γνώσης έχει αποδειχθεί αποτελεσματική στη βελτίωση των μαθηματικών δεξιοτήτων μαθητών με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες. Η συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση της Παπά (2024) υπογραμμίζει τη σημασία αυτών των μεθόδων στη βελτίωση της ευχέρειας και της διατήρησης της επίδοσης στις δεξιότητες εκτέλεσης πολλαπλασιασμών.

Αρκετές μελέτες επιβεβαιώνουν ότι η γλώσσα παίζει κρίσιμο ρόλο στην ανάπτυξη μαθηματικών δεξιοτήτων:

- Η γλωσσική επάρκεια επηρεάζει την απόδοση στα μαθηματικά. Μελέτη σε φοιτητές μητρικής γλώσσας τα αγγλικά έδειξε ότι όσοι είχαν υψηλή γλωσσική ικανότητα είχαν καλύτερες επιδόσεις στα μαθηματικά (Nelson et al., 2024).
- Η μαθηματική γλώσσα είναι διαφορετική από την καθημερινή γλώσσα. Μελέτη σε μαθητές γυμνασίου έδειξε ότι η κατανόηση των μαθηματικών όρων ήταν πιο σημαντική από την απλή αριθμητική ικανότητα (Soybas, 2025).
- Η χρήση διαγραμματικών αναπαραστάσεων και τεχνολογίας ενισχύει την κατανόηση. Η ένταξη χαρτογράφησης εννοιών και τεχνητής νοημοσύνης στη διδασκαλία των μαθηματικών βελτιώνει την κατανόηση αφηρημένων εννοιών (Khan & Ali, 2025).

Διεπιστημονική Σύνδεση της μαθηματικής εκπαίδευσης και της γνωστικής νευροεπιστήμης

Πώς η νευροεπιστήμη υποστηρίζει τις παιδαγωγικές προσεγγίσεις.

Η νευροεπιστήμη, ως επιστημονικός κλάδος, ασχολείται με τη μελέτη του νευρικού συστήματος και τη λειτουργία του εγκεφάλου. Η σύνδεση της με την εκπαίδευση αποτελεί έναν τομέα που έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, κυρίως λόγω της προόδου στις μεθόδους απεικόνισης του εγκεφάλου και των νέων ευρημάτων που προκύπτουν από τις έρευνες για τη λειτουργία του. Η σύνδεση των δύο επιστημονικών κλάδων έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία, με την έρευνα να αποκαλύπτει πώς οι μαθησιακές διαδικασίες σχετίζονται με τη νευρολογική ανάπτυξη (Green et al., 2021).

Η καλύτερη κατανόηση των μηχανισμών που ελέγχουν τις μαθησιακές διαδικασίες μπορεί να ενισχύσει τις παιδαγωγικές προσεγγίσεις και να βοηθήσει στη διαμόρφωση πιο αποτελεσματικών στρατηγικών διδασκαλίας. Η νευροεπιστήμη παρέχει χρήσιμα δεδομένα που μπορούν να ενισχύσουν τις παιδαγωγικές προσεγγίσεις, δίνοντας στους εκπαιδευτικούς και τους μαθητές τη δυνατότητα να κατανοήσουν καλύτερα τις διεργασίες μάθησης και να εφαρμόσουν πιο αποτελεσματικές μεθόδους διδασκαλίας.

Νευροεπιστήμη και Μάθηση

Η μάθηση, όπως αποδεικνύεται από τις σύγχρονες έρευνες, βασίζεται σε σύνθετες νευρολογικές διεργασίες, οι οποίες επιτρέπουν στον εγκέφαλο να δημιουργεί και να ενισχύει νέες συνάψεις, μια διαδικασία γνωστή ως νευροπλαστικότητα. Στην αρχή του 21ου αιώνα, η έρευνα του Eric Kandel (2001) αναγνώρισε τη σημασία της πλαστικότητας του εγκεφάλου για τη μάθηση και τη μνήμη. Η πλαστικότητα επιτρέπει στον εγκέφαλο να προσαρμόζεται, επανασυνδέοντας νευρώνες, κάτι που είναι καθοριστικό για τη μάθηση νέων δεξιοτήτων ή πληροφοριών. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγήσει γιατί η ενεργητική συμμετοχή και η πρακτική άσκηση είναι τόσο σημαντικές για την κατανόηση και απομνημόνευση. Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη, η νευροπλαστικότητα ενισχύεται ιδιαίτερα μέσα από εμπειρικά περιβάλλοντα μάθησης (Green et al., 2021).

Η μάθηση λοιπόν, είναι μια διαδικασία που συνδέεται με την ικανότητα του εγκεφάλου να προσαρμόζεται και να αλλάζει μέσω της πλαστικότητας του, δηλαδή την ικανότητα των νευρωνικών συνδέσεων να τροποποιούνται ή να ενισχύονται με την εμπειρία (Shatz, 1992). Η σύγχρονη νευροεπιστήμη έχει καταδείξει ότι η μάθηση δεν είναι μόνο μια γνωστική διαδικασία, αλλά επηρεάζεται και από συναισθηματικούς, κοινωνικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Η διαρκής επικοινωνία μεταξύ των περιοχών του εγκεφάλου, που συνδέονται με τη μνήμη, τη συγκέντρωση και τη συναισθηματική αντίδραση, είναι κρίσιμη για την επιτυχία της μαθησιακής διαδικασίας (Dolan, 2002).

Η πλαστικότητα του εγκεφάλου επιτρέπει στους μαθητές να μάθουν και να αναπτύξουν νέες δεξιότητες, ακόμα και σε προχωρημένες ηλικίες. Η νευροεπιστημονική έρευνα δείχνει ότι οι εκπαιδευτικές στρατηγικές που ενισχύουν τη διαδραστικότητα, την πρακτική εφαρμογή και την ενσυναισθησία οδηγούν σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα (Jensen, 2005). Η πλαστικότητα του εγκεφάλου υποστηρίζει επίσης τη σημασία της διαρκούς μάθησης και της εξάσκησης, ακόμα και για ενήλικες. Η επανάληψη και η εξάσκηση ενισχύουν τις συνδέσεις στον εγκέφαλο, επιτρέποντας την καλύτερη απομνημόνευση και κατανόηση των πληροφοριών (Dubinsky & Hamid, 2024). Σύμφωνα με πρόσφατη μελέτη, η νευροπλαστικότητα ενισχύεται ιδιαίτερα μέσα από εμπειρικά περιβάλλοντα μάθησης (Green et al., 2021).

Ο Ρόλος των Συναισθημάτων στη Μάθηση

Η νευροεπιστημονική έρευνα έχει αποδείξει ότι τα συναισθηματικά ερεθίσματα είναι ζωτικής σημασίας για την επεξεργασία και αποθήκευση της μάθησης. Ο εγκέφαλος έχει μια πολύ ισχυρή σύνδεση μεταξύ των συναισθηματικών περιοχών του και των περιοχών που σχετίζονται με την μάθηση και τη μνήμη. Η αμυγδαλή, η οποία είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία των συναισθημάτων, αλληλεπιδρά στενά με τον υπόκαμπο, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τη μνήμη και την αποθήκευση πληροφοριών (LeDoux, 2000). Αυτό σημαίνει ότι η συναισθηματική αντίδραση σε ένα γεγονός μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα του ατόμου να το θυμηθεί στο μέλλον.

Έρευνες της Mary Helen Immordino-Yang (2015) δείχνουν ότι όταν οι μαθητές βιώνουν συναισθηματική εμπλοκή σε μια μαθησιακή διαδικασία, η μάθηση ενισχύεται. Οι στρατηγικές που ενσωματώνουν την κοινωνική και συναισθηματική διάσταση της μάθησης μπορούν να βελτιώσουν την κατανόηση και την απομνημόνευση των πληροφοριών. Αντιθέτως, όταν οι μαθητές βιώνουν άγχος ή φόβο, οι συναισθηματικές περιοχές του εγκεφάλου καταλαμβάνουν μεγαλύτερο χώρο και αυτό περιορίζει την ικανότητα του εγκεφάλου να επεξεργάζεται νέες πληροφορίες. Πρόσφατα ευρήματα τονίζουν πως η συναισθηματική ενασχόληση ενεργοποιεί περιοχές του προμετωπιαίου φλοιού που σχετίζονται με την ενσυνείδητη σκέψη και την ενσυναίσθηση (Miller & Immordino-Yang, 2022).

Η νευροεπιστήμη έχει αναδείξει τη σημασία των συναισθημάτων στη διαδικασία της μάθησης. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τα συναισθήματα και τις αντιδράσεις του σώματος μέσω της αμυγδαλής, η οποία συνδέεται με την ενίσχυση ή την αποτροπή της μάθησης, ανάλογα με το είδος του συναισθηματικού ερεθίσματος (LeDoux, 2000). Στη σχολική τάξη, όταν οι μαθητές νιώθουν άγχος ή φόβο, η μάθηση μπορεί να επηρεαστεί αρνητικά. Αντίθετα, η θετική ενίσχυση και η δημιουργία ενός υποστηρικτικού περιβάλλοντος μπορούν να ενισχύσουν τη μαθησιακή εμπειρία και να βελτιώσουν την απόδοση των μαθητών (Immordino-Yang & Damasio, 2007).

Η συναισθηματική εμπλοκή δεν περιορίζεται μόνο στη θετική ενίσχυση αλλά και στην αναγνώριση των συναισθηματικών αναγκών των μαθητών. Η ενίσχυση της συναισθηματικής σύνδεσης μεταξύ δασκάλου και μαθητή έχει καταδειχθεί ως ένας από τους πιο αποτελεσματικούς τρόπους ενίσχυσης της μάθησης. Η συναισθηματική ασφάλεια και η αίσθηση υποστήριξης ενδυναμώνουν την αφοσίωση και την ικανότητα μάθησης των μαθητών (Panksepp, 2018).

Παιδαγωγικές Προσεγγίσεις που Υποστηρίζονται από τη Νευροεπιστήμη

Η κατανόηση των νευροεπιστημονικών αρχών και η εφαρμογή των ευρημάτων της νευροεπιστήμης στις παιδαγωγικές πρακτικές έχει αναδείξει νέες στρατηγικές και προσεγγίσεις που ενισχύουν τη μαθησιακή διαδικασία. Μερικές από τις πιο σημαντικές στρατηγικές περιλαμβάνουν:

- **Ενεργητική μάθηση και συνεργατική διδασκαλία:** Η αλληλεπίδραση μεταξύ μαθητών και η συνεργασία για την επίλυση προβλημάτων ενισχύει τις συνδέσεις στον εγκέφαλο και βοηθά στην καλύτερη κατανόηση των πληροφοριών (Thomas & Brown, 2011). Οι έρευνες δείχνουν ότι η ενεργητική μάθηση, όπου οι μαθητές συμμετέχουν ενεργά στην ανακάλυψη της γνώσης, προάγει τη νευρολογική σύνδεση και ενισχύει τη μνήμη (Thomas & Brown, 2011). Μια μελέτη του 2024 από τους Dubinsky & Hamid (2024) αναφέρει ότι οι μαθητές που συμμετέχουν σε δραστηριότητες που απαιτούν αλληλεπίδραση και ενεργή εμπλοκή σε σύνθετα καθήκοντα αποδίδουν καλύτερα σε σύγκριση με τους μαθητές που διδάσκονται με παραδοσιακές μεθόδους. Η συνεργατική διδασκαλία, όπου οι μαθητές δουλεύουν μαζί για την επίλυση προβλημάτων, ενισχύει τις κοινωνικές και γνωστικές δεξιότητες και προάγει την κατανόηση. Η ενεργητική μάθηση προάγει τη νευρολογική συνδεσιμότητα και οδηγεί σε αυξημένη δραστηριότητα του ιππόκαμπου (Dubinsky & Hamid, 2024).
- **Στρατηγικές που ενισχύουν τη συναισθηματική σύνδεση:** Όπως προαναφέρθηκε, τα συναισθήματα παίζουν κρίσιμο ρόλο στη μάθηση. Η ενίσχυση της συναισθηματικής σύνδεσης μεταξύ του δασκάλου και των μαθητών, καθώς και η δημιουργία ενός θετικού και υποστηρικτικού κλίματος στην τάξη, βοηθάει στην ενίσχυση της μαθησιακής διαδικασίας (Immordino-Yang & Damasio, 2007). Όταν οι μαθητές αισθάνονται ασφαλείς και συναισθηματικά συνδεδεμένοι με το περιβάλλον τους, ενεργοποιούνται περιοχές του εγκεφάλου που προάγουν τη μάθηση. Έρευνες του 2022 από τους Koelsch et al. αναφέρουν ότι τα θετικά συναισθηματικά ερεθίσματα βελτιώνουν την ικανότητα μάθησης, ενεργοποιώντας περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με τη συγκέντρωση και τη μνήμη. Πρόσφατα ευρήματα τονίζουν πως η συναισθηματική ενασχόληση ενεργοποιεί περιοχές του προμετωπιαίου φλοιού που σχετίζονται με την ενσυνείδητη σκέψη και την ενσυναίσθηση (Immordino-Yang & Damasio, 2007).
- **Ατομική προσαρμογή της διδασκαλίας:** Η νευροεπιστημονική έρευνα υποδεικνύει ότι οι μαθητές έχουν διαφορετικούς τρόπους μάθησης, και η προσαρμογή της διδασκαλίας στις ατομικές ανάγκες των μαθητών μπορεί να ενισχύσει την αποτελεσματικότητα της μάθησης. Η εξατομικευμένη διδασκαλία, η οποία λαμβάνει υπόψη τις ιδιαιτερότητες του εγκεφάλου και των αναγκών κάθε μαθητή, είναι μια στρατηγική που υποστηρίζεται από τα νευροεπιστημονικά δεδομένα (Goswami, 2006). Προσαρμόζει τις στρατηγικές διδασκαλίας στις ανάγκες του κάθε μαθητή και έχει αποδειχθεί πιο αποτελεσματική στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Η πρόσφατη έρευνα της Sarah-Jayne Blakemore (2021) τονίζει ότι οι μαθητές μάθουν καλύτερα όταν η διδασκαλία προσαρμόζεται στις ατομικές ανάγκες και τα ενδιαφέροντά τους, κάτι που συνάδει με τα νευροεπιστημονικά δεδομένα περί εξατομίκευσης των μαθησιακών διεργασιών στον εγκέφαλο. Νεότερες παιδαγωγικές μελέτες επιβεβαιώνουν πως η εξατομίκευση της διδασκαλίας βελτιώνει τη συγκράτηση της γνώσης και ενισχύει την κριτική σκέψη (Lopez & Howard-Jones, 2023).

Πώς μπορεί να βοηθήσει η νευροεπιστήμη πρακτικά τη διδασκαλία των μαθηματικών

Η διδασκαλία των μαθηματικών αποτελεί έναν από τους πιο απαιτητικούς τομείς της εκπαίδευσης, με πολλούς μαθητές να αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην κατανόηση και εφαρμογή μαθηματικών εννοιών. Η νευροεπιστήμη, μελετώντας τη λειτουργία του εγκεφάλου, προσφέρει πολύτιμες γνώσεις για το πώς επεξεργάζεται ο ανθρώπινος εγκέφαλος τα μαθηματικά ερεθίσματα. Η ενσωμάτωση αυτών των γνώσεων στη διδακτική πρακτική μπορεί να βελτιώσει την αποτελεσματικότητα της διδασκαλίας και να ενισχύσει τη μαθησιακή εμπειρία των μαθητών (Carey, 2014). Οι παρεμβάσεις που βασίζονται σε νευροεπιστημονικά δεδομένα εστιάζουν κυρίως σε τρεις τομείς: τη ρύθμιση του άγχους, την υποστήριξη των γνωστικών λειτουργιών και τη δημιουργία θετικών μαθησιακών εμπειριών.

Νευροβιολογική βάση της μαθηματικής σκέψης

Έρευνες έχουν δείξει ότι συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου, όπως ο ενδοβρεγματικός αυλάκας (intraparietal sulcus), είναι κρίσιμες για την αριθμητική επεξεργασία (Dehaene et al., 2003). Επιπλέον, η αμυγδαλή, περιοχή που σχετίζεται με την επεξεργασία συναισθημάτων, ενεργοποιείται έντονα σε άτομα με μαθηματικό άγχος, επηρεάζοντας τη λειτουργία του προμετωπιαίου φλοιού και μειώνοντας την ικανότητά τους να επιλύουν μαθηματικά προβλήματα (Young et al., 2012).

Πρακτικές εφαρμογές στη διδασκαλία

- Αντιμετώπιση του μαθηματικού άγχους

Το μαθηματικό άγχος μπορεί να μειώσει την απόδοση των μαθητών και να επηρεάσει αρνητικά την ανάπτυξη του εγκεφάλου τους, καθώς η δραστηριότητα στην αμυγδαλή αυξάνεται. (Young et al., 2012).

Παράδειγμα παρέμβασης: Η τεχνική της γραφής πριν το διαγώνισμα (expressive writing) έχει αποδειχθεί ότι βοηθά τους μαθητές να εκφράσουν τις αγχώδεις σκέψεις τους, «αδειάζοντας» την εργασιακή μνήμη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της γνωστικής επιβάρυνσης και την καλύτερη απόδοση στο τεστ (Ramirez & Beilock, 2011).

➤ Ενίσχυση εκτελεστικών λειτουργιών

Παρέμβαση: Η χρήση παιχνιδιών, αφηγήσεων ή εφαρμογών για την εισαγωγή μαθηματικών εννοιών δημιουργεί ένα θετικό περιβάλλον μάθησης.

Παράδειγμα: Εισαγωγή της έννοιας της αναλογίας μέσα από ένα διαδραστικό σενάριο όπου οι μαθητές «ταΐζουν» ζώα με συγκεκριμένες ποσότητες τροφής και πρέπει να ανακαλύψουν τις σωστές αναλογίες.

➤ Ενίσχυση της αυτοπεποίθησης μέσω της επιτυχίας

Η ενίσχυση της αυτοπεποίθησης των μαθητών μέσω επιτυχιών σε μαθηματικά καθήκοντα μπορεί να μειώσει το μαθηματικό άγχος και να βελτιώσει την απόδοσή τους. Έρευνα έδειξε ότι οι μαθητές με υψηλή αυτο-αποτελεσματικότητα στα μαθηματικά είχαν χαμηλότερα επίπεδα άγχους και υψηλότερες επιδόσεις (Živković, et al., 2023).

Παρέμβαση: Η χρήση παιχνιδιών, αφηγήσεων ή εφαρμογών για την εισαγωγή μαθηματικών εννοιών δημιουργεί ένα θετικό περιβάλλον μάθησης.

Παράδειγμα: Εισαγωγή της έννοιας της αναλογίας μέσα από ένα διαδραστικό σενάριο όπου οι μαθητές «ταΐζουν» ζώα με συγκεκριμένες ποσότητες τροφής και πρέπει να ανακαλύψουν τις σωστές αναλογίες.

➤ Χρήση πολυαισθητηριακών μεθόδων διδασκαλίας

Η εμπλοκή πολλαπλών αισθήσεων στη μαθησιακή διαδικασία μπορεί να ενισχύσει την κατανόηση και απομνημόνευση μαθηματικών εννοιών. Σύμφωνα με τον Sousa (2011), η ενεργοποίηση πολλαπλών αισθητηριακών διαύλων ενισχύει τη δημιουργία συνδέσεων στον εγκέφαλο.

➤ Ανάπτυξη δεξιοτήτων εργασιακής μνήμης

Η εργασιακή μνήμη, η προσοχή και η γνωστική ευελιξία είναι απαραίτητα για την επεξεργασία σύνθετων μαθηματικών εννοιών. Η εργασιακή μνήμη είναι απαραίτητη για την εκτέλεση μαθηματικών διαδικασιών. Έρευνες έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ μαθηματικού άγχους και επίδοσης επηρεάζεται σημαντικά από την ισχύ της εργασιακής μνήμης (Jansen et al., 2023).

Παρέμβαση: Εκπαιδευτικά παιχνίδια που στοχεύουν στην ενίσχυση της εργασιακής μνήμης, όπως η στροφή ανάμεσα σε δύο τύπους κανόνων ή η απομνημόνευση αριθμητικών ακολουθιών με ταυτόχρονη επεξεργασία.

Παράδειγμα: Ένα απλό παιχνίδι όπου ο δάσκαλος λέει μια σειρά αριθμών, και οι μαθητές πρέπει να την επαναλάβουν αντίστροφα, προσθέτοντας 1 σε κάθε αριθμό.

➤ Παρεμβάσεις βασισμένες στη νευροεπιστήμη

Πρόσφατη μετα-ανάλυση έδειξε ότι παρεμβάσεις που στοχεύουν στη ρύθμιση του άγχους ή την υποστήριξη γνωστικών λειτουργιών είναι αποτελεσματικές στη μείωση του μαθηματικού άγχους (Finell et al., 2023).

➤ Νευροπαιδαγωγική εκπαίδευση εκπαιδευτικών

Μια πιο μακροπρόθεσμη στρατηγική παρέμβασης είναι η εκπαίδευση των δασκάλων σε βασικές αρχές της γνωστικής νευροεπιστήμης, ώστε να προσαρμόζουν τη διδασκαλία τους με βάση τον τρόπο που μαθαίνει ο εγκέφαλος.

Παράδειγμα εφαρμογής: Σεμινάρια για εκπαιδευτικούς όπου εξηγείται πώς να αναγνωρίζουν σημάδια γνωστικής υπερφόρτωσης στους μαθητές και να εφαρμόζουν τεχνικές διαφοροποιημένης διδασκαλίας.

Η ενσωμάτωση λοιπόν, των γνώσεων της νευροεπιστήμης στη διδασκαλία των μαθηματικών προσφέρει πρακτικές και επιστημονικά τεκμηριωμένες στρατηγικές για την υποστήριξη των μαθητών. Εστιάζοντας στη ρύθμιση του άγχους, την ενίσχυση της αυτοπεποίθησης, την καλλιέργεια της μνήμης και τη χρήση

πολυαισθητηριακών εργαλείων, οι εκπαιδευτικοί μπορούν να δημιουργήσουν πιο αποτελεσματικά και συμπεριληπτικά μαθησιακά περιβάλλοντα.

Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας η παρούσα εργασία ανέδειξε τον πολυδιάστατο χαρακτήρα της γνωστικής νευροεπιστήμης, παρουσιάζοντάς την ως ένα ταχέως εξελισσόμενο επιστημονικό πεδίο που συνδυάζει τη βιολογία, την ψυχολογία, τις γνωστικές επιστήμες και τις τεχνολογίες αιχμής. Η ιστορική της αναδρομή ανέδειξε τη μετάβαση από την απλή χαρτογράφηση εγκεφαλικών περιοχών στη διερεύνηση της λειτουργικής οργάνωσης του εγκεφάλου.

Ένα από τα πιο κρίσιμα ευρήματα της εργασίας ήταν η ανάδειξη της γνωστικής νευροεπιστήμης ως γέφυρας μεταξύ θεωρητικής έρευνας και εφαρμοσμένης εκπαιδευτικής πρακτικής. Η εκπαιδευτική νευροεπιστήμη, ως απόρροια αυτής της σύνδεσης, στοχεύει στη μεταφορά της κατανόησης των εγκεφαλικών μηχανισμών στον σχεδιασμό παιδαγωγικών παρεμβάσεων. Από το 2007 και έπειτα, με την ίδρυση ειδικών ερευνητικών κέντρων και επιστημονικών περιοδικών, ενισχύεται η ανάγκη για διαρκή διάλογο μεταξύ εκπαιδευτικών και επιστημόνων του εγκεφάλου. Παράλληλα, η νευροεπιστήμη συνεισφέρει σε εξειδικευμένες περιοχές όπως η ειδική αγωγή, βοηθώντας στην κατανόηση νευροαναπτυξιακών διαταραχών (όπως η δυσλεξία και το ADHD) και προτείνοντας τεκμηριωμένες εκπαιδευτικές στρατηγικές.

Σημαντικό σκέλος της εργασίας αφιερώθηκε στη λειτουργική ανάλυση βασικών γνωστικών μηχανισμών: μνήμη, προσοχή και γνωστική ευελιξία καθώς και στη χαρτογράφηση των εγκεφαλικών δομών που σχετίζονται με τη μαθηματική σκέψη και την επεξεργασία αριθμητικών δεδομένων. Επιπλέον, τόνισε τη λειτουργική συνεργασία αυτών των περιοχών μέσω νευρωνικών δικτύων και τη σημασία των συνδέσεων τους (όπως η τοξοειδής δέσμη), ιδίως στη μετατροπή ακουστικών ερεθισμάτων σε σημασιολογική πληροφορία.

Ωστόσο, η εφαρμογή των γνώσεων της γνωστικής νευροεπιστήμης στην εκπαιδευτική πράξη δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις. Ένα βασικό εμπόδιο αποτελεί η απόσταση μεταξύ του εργαστηριακού περιβάλλοντος και της σχολικής πραγματικότητας: τα ευρήματα που προκύπτουν από εξειδικευμένες μελέτες σε ελεγχόμενες συνθήκες συχνά δυσκολεύονται να μεταφραστούν σε πρακτικές διδασκαλίας στην τάξη. Επιπλέον, οι τεχνικές νευροαπεικόνισης, παρότι χρήσιμες, παρουσιάζουν περιορισμούς, όπως η χαμηλή οικολογική εγκυρότητα, το υψηλό κόστος και η δυσκολία γενίκευσης σε πληθυσμούς όπως παιδιά ή άτομα με μαθησιακές δυσκολίες. Υπάρχει επίσης έλλειψη κοινής "γλώσσας" μεταξύ νευροεπιστημόνων και εκπαιδευτικών, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη συνεργασία και την εφαρμογή των επιστημονικών πορισμάτων στην πράξη και υπογραμμίζει την ανάγκη για κριτική παιδεία και επαρκή επιμόρφωση των εκπαιδευτικών.

Συνοψίζοντας, η παρούσα εργασία αποτύπωσε την πολυπλοκότητα και τη σημασία της γνωστικής νευροεπιστήμης ως επιστημονικού και εφαρμοσμένου πεδίου. Οι εγκεφαλικοί μηχανισμοί που υποστηρίζουν τη μνήμη, την προσοχή, την ευελιξία και την αριθμητική επεξεργασία αποτελούν κλειδιά για την κατανόηση της μάθησης και της ανθρώπινης συμπεριφοράς. Η διεπιστημονική προσέγγιση που συνδυάζει τη νευροεπιστήμη με την μαθηματική εκπαίδευση ενισχύει τη μετάφραση της επιστημονικής γνώσης σε εκπαιδευτική πρακτική και ανοίγει νέες προοπτικές για τη διαμόρφωση προσαρμοστικών, επιστημονικά τεκμηριωμένων μοντέλων μάθησης. Παρά τις υφιστάμενες προκλήσεις στην εφαρμογή αυτών των γνώσεων στην εκπαιδευτική καθημερινότητα, το πεδίο εξακολουθεί να εξελίσσεται δυναμικά, καθιστώντας τη γνωστική νευροεπιστήμη έναν από τους πιο ελπιδοφόρους τομείς για την παιδαγωγική και την κοινωνική πρόοδο του 21ου αιώνα.

Βιβλιογραφία

Παπά, Μ. (2024). *Διδακτικές εφαρμογές για τη βελτίωση δεξιοτήτων εκτέλεσης πολλαπλασιασμών από μαθητές πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες: μία συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση*. Πανεπιστήμιο Μακεδονίας. <http://dspace.lib.uom.gr/handle/2159/29985>

- Τάτσης, Κ. (2005). *Σχέση μαθηματικών και γλωσσικών ικανοτήτων κατά την επίλυση προβλημάτων*. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων. <http://hdl.handle.net/10442/hedi/21383>
- Adams, J. M., Snowling, M. J., Hennessy, S. M., & Kind, P. (1999). Problems of behaviour, reading and arithmetic: Assessments of comorbidity using the Strengths and Difficulties Questionnaire. *British Journal of Educational Psychology*, 69(4), 571–585. <https://doi.org/10.1348/000709999157806>
- Anderson, O.R., Love, B.C. & Tsai, M.J. (2014). Neuroscience Perspectives for Science and Mathematics Learning in Technology-Enhanced Learning Environments. *International Journal Of Science And Math Education*, 12, 467–474. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9540-2>
- Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: Education and cognitive neuroscience. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), 146-151.. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.02.007>
- Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(4), 278–291. <https://doi.org/10.1038/nrn2334>
- Arizmendi, G. D., Li, J.-T., Van Horn, M. L., Petcu, S. D., & Swanson, H. L. (2021). Language-Focused Interventions on Math Performance for English Learners: A Selective Meta-Analysis of the Literature. *Learning Disabilities Research & Practice*, 36(1), 56-75. <https://doi.org/10.1111/ldrp.12239>
- Arsalidou, M., & Taylor, M. J. (2011). Is 2+2=4? *Meta-analyses of brain areas needed for numbers and calculations*. *NeuroImage*, 54(3), 2382-2393. <https://neuropsychology.com/public/arsalidou11.pdf>
- Ayd, F.J. (2000). *Lexicon of Psychiatry, Neurology and the Neurosciences*. Lippincott, Williams & Wilkins. p. 688. ISBN 0781724686.
- Battro, A. M., Fischer, K. W., & Lena, P. J. (2013). *The educated brain: Essays in neuroeducation*. Cambridge University Press. Online ISBN 9780511489907. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511489907>
- Bergsleithner, J. M. (2010). Working memory and L2 speech performance: The influence of operation span on fluency, accuracy, complexity and lexical density. *Calidoscópio*, 8(2), 125–133. <https://doi.org/10.4013/cld.2010.82.06>
- Blakemore, S.-J. (2021). *Inventing Ourselves: The Secret Life of the Teenage Brain*. Basic Books.
- Butterworth, B., & Walsh, V. (2011). Neural basis of mathematical cognition. *Current Biology*, 21(16), R618-R621. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2011.07.005>
- Carey, B. (2014). *How We Learn: The Surprising Truth About When, Where, and Why It Happens*. Random House.
- Dehaene, S. (1999). *The Number Sense: How the Mind Creates Mathematics*. Oxford University Press. ISBN 978-0195132403.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3), 487–506. <https://doi.org/10.1080/02643290244000239>
- De Smedt, B., Ansari, D., Grabner, R. H., Hannula-Sormunen, M., Schneider, M., & Verschaffel, L. (2010). Cognitive neuroscience meets mathematics education: It takes two to tango. *Educational Research Review*, 6(3), 232–237. <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2011.10.002>
- Dolan R. J. (2002). Emotion, cognition, and behavior. *Science (New York, N.Y.)*, 298(5596), 1191–1194. <https://doi.org/10.1126/science.1076358>
- Dubinsky, J. M. & Hamid, A. A. (2024). The neuroscience of active learning and direct instruction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 163, 105737. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105737>
- Finell, J., Viholainen, H., & Laine, M. (2023). Interventions to reduce math anxiety: A meta-analysis. *Journal of Numerical Cognition*, 9(1), 90–112. <https://doi.org/10.5964/jnc.8401>
- Friedman, H. (2025). A Mechanistic Common Denominator of Neurodevelopmental Disorders and a Therapeutic Approach. *IntechOpen*. <https://www.intechopen.com/online-first/1205026>
- Gabrieli, J. D. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325(5938), 280-283. <https://doi.org/10.1126/science.1171999>
- Grabner, R. H., & Ansari, D. (2010). Promises and potential pitfalls of a ‘cognitive neuroscience of mathematics learning’. *ZDM Mathematics Education*, 42, 655–660. <http://dx.doi.org/10.1007/s11858-010-0283-4>
- Gazzaniga M. S. (1995). Principles of human brain organization derived from split-brain studies. *Neuron*, 14(2), 217–228. [https://doi.org/10.1016/0896-6273\(95\)90280-5](https://doi.org/10.1016/0896-6273(95)90280-5)
- Green, C. T., Kraemer, D. J., & Yurgelun-Todd, D. A. (2021). Neuroplasticity and experiential learning: Insights for education. *Frontiers in Psychology*, 12, 652839. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.652839>
- Hebb, D. O. (1949). *The organization of behavior: A neuropsychological theory*. Wiley. [https://doi.org/10.1016/s0361-9230\(99\)00182-3](https://doi.org/10.1016/s0361-9230(99)00182-3)

- Hickok, G., & Poeppel, D. (2015). Neural basis of speech perception. *Handbook of Clinical Neurology*, 143, 149-160. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-62630-1.00008-1>
- Immordino-Yang, M. H., & Damasio, A. R. (2007). We feel, therefore we learn: The relevance of affective and social neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 1(1), 3-10. <https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2007.00004.x>
- Jansen, B. R. J., Barrocas, R., van der Ven, S. H. G., & Kroesbergen, E. H. (2023). Working memory and math anxiety: A longitudinal study. *Journal of Experimental Child Psychology*, 227, 105568. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2023.105568>
- Jensen, E. (2005). *Teaching with the brain in mind*. ASCD.
- Kandel, E. R. (2001). The molecular biology of memory storage: A dialogue between genes and synapses. *Science*, 294(5544), 1030-1038. <https://doi.org/10.1126/science.1067020>
- Khan, Z., & Ali, K. (2025). Revolutionizing Mathematics Education: The Role of Concept Mapping, AI, and Multimodal Semiotic Reasoning. *Researchgate.net*. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.12777.61285>
- Klein, E., Moeller, K., Glauche, V., Weiller, C., & Willmes, K. (2013). Processing pathways in mental arithmetic—evidence from probabilistic fiber tracking. *PLoS ONE*, 8(1), e55455. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055455>
- Koelsch, S., Andrews-Hanna, J. R., & Skouras, S. (2022). Tormenting thoughts: The posterior cingulate sulcus of the default mode network regulates valence of thoughts and activity in the brain's pain network during music listening. *Human Brain Mapping*, 43(2), 773-786. <https://doi.org/10.1002/hbm.25686>
- Kormos, J., & Sáfár, A. (2008). Phonological short-term memory, working memory and foreign language performance in intensive language learning. *Bilingualism: Language and Cognition*, 11(2), 261–271. <https://doi.org/10.1017/S1366728908003416>
- Kroeger, L. A., Brown, R. D., & O'Brien, B. A. (2012). Connecting neuroscience, cognitive, and educational theories and research to practice. *Early Education & Development*, 23(1), 37-58. <http://dx.doi.org/10.1080/10409289.2012.617289>
- LeDoux J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual review of neuroscience*, 23, 155–184. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.23.1.155>
- Li, Y. F., Ewoldt, K. B., Yan, W., & Cornelius-Freyre, M. (2025). Interventions for English Learners With Learning Disabilities: 2002–2022. *IJRLD-International Journal for Research in Learning Disabilities*, 8(1). <https://doi.org/10.28987/ijrld.8.1>
- Longstaff, A. (2011). *BIOS Instant Notes in Neuroscience*. Garland Science. p.v. ISBN 9780415607698.
- Lopez, R. M., & Howard-Jones, P. A. (2023). Personalised learning through neuroscientific lens. *Mind, Brain, and Education*, 17(1), 35–47. <https://doi.org/10.1111/mbe.12345>
- Mahmood, A., Othman, M. F., & Yusof, Y. M. (2012). A Conceptual Framework for Mathematical Ability Analysis through the Lens of Cultural Neuroscience. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 56, 175–182. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.09.644>
- Matejko, A. A., Lozano, M., Schlosberg, N., McKay, C., Core, L., Revsine, C., Davis, S. N., & Eden, G. F. (2023). The relationship between phonological processing and arithmetic in children with learning disabilities. *Developmental science*, 26(2), e13294. <https://doi.org/10.1111/desc.13294>
- Menon, V., & D'Esposito, M. (2022). The role of PFC networks in cognitive control and executive function. *Neuropsychopharmacology*, 47(1), 90-103. <https://www.nature.com/articles/s41386-021-01152-w>
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167-202. <https://doi.org/10.1146/annurev.neuro.24.1.167>
- Miller, K. L., & Immordino-Yang, M. H. (2022). Emotion, social cognition, and learning: The neuroscience connection. *Trends in Neuroscience and Education*, 29, 100187. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100187>
- Michel, M., Kuiken, F., & Vedder, I. (2019). The influence of complexity in L2 task-based performance: The moderating effects of working memory and language aptitude. *The Modern Language Journal*, 103(1), 68–84. <https://doi.org/10.1111/modl.12531>
- Napoli, A. R. & Purpura, D. J. (2018). The home literacy and numeracy environment in preschool: Cross-domain relations of parent–child practices and child outcomes. *Journal of Experimental Child Psychology*, 166, 581-603. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.10.002>

- Nelson, D., Devardhi, J., & George, H. (2024). Understanding Mathematical Performance through Proficiency in English: The Case of Engineering Students. *International Journal of All Research Education and Scientific Methods (IJARESM)*, 12(10), 2744-2757. <https://www.researchgate.net/publication/389636364>
- Panksepp, J. (2018). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. Oxford University Press.
- Peng, P., Lin, X., Ünal, Z. E., Lee, K., Namkung, J., Chow, J., & Sales, A. (2020). Examining the mutual relations between language and mathematics: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 146(7), 595–634. <https://doi.org/10.1037/bul0000231>
- Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 62(2), 816-847. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.04.062>
- Raichle, M. E. (1994). Visualizing the mind. *Scientific American*, 270(4), 58-64. <https://www.jstor.org/stable/24942659>
- Ramirez, G., & Beilock, S. L. (2011). Writing about testing worries boosts exam performance in the classroom. *Science (New York, N.Y.)*, 331(6014), 211–213. <https://doi.org/10.1126/science.1199427>
- Shapiro, S. (2000). *Thinking about Mathematics: The Philosophy of Mathematics*. Oxford University Press. ISBN 9780192893062.
- Shatz C. J. (1992). The developing brain. *Scientific American*, 267(3), 60–67. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0992-60>
- Sokolowski, H. M., Fias, W., Mousa, A., & Ansari, D. (2017). Common and distinct brain regions in both parietal and frontal cortex support symbolic and nonsymbolic number processing in humans: A functional neuroimaging meta-analysis. *NeuroImage*, 146, 376–394. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.10.028>
- Soybaş, D. & Zihar, M. (2025). Analyzing of Middle School Students' Perceptions of Concepts and Mathematical Language Skills Related to Dimension. *Journal of Education and -Practice*, 16(2), 17-46. <http://dx.doi.org/10.7176/JEP/16-2-02>
- Sousa, D. A. (2011). *How the Brain Learns Mathematics*. Corwin Press.
- Tandon, P.N. & Singh, N.C. (2016). Educational Neuroscience: Challenges and Opportunities. *Annals of Neurosciences*, 23(2): 63–65. <https://doi.org/10.1159/000443560>
- Thomas, D., & Brown, J. S. (2011). A new culture of learning: Cultivating the imagination for a world of constant change. *Create Space Independent Publishing Platform*. <https://www.johnseelybrown.com/Cultivating%20the%20Imagination.pdf>
- Vasylets, O., & Marín, J. (2021). The role of working memory in second language writing: A study of complexity, accuracy, and fluency in written production. *Journal of Second Language Writing*, 52, 100789. <https://doi.org/10.1016/j.jslw.2021.100789>
- Wang, S., Shen, M., Pang, B., Zhou, B., Yuan, Y., Lu, M., Deng, X., Yang, M., Liu, S., Wang, Q., Xue, M., Xia, Q., & Zhang, Z. (2025). Impaired cognitive function and decreased monoamine neurotransmitters in the DNAJC12 gene knockout mouse model. *Orphanet Journal Of Rare Diseases*, 20(1), 60. <https://doi.org/10.1186/s13023-025-03580-z>
- Young, C. B., Wu, S. S., & Menon, V. (2012). The neurodevelopmental basis of math anxiety. *Psychological Science*, 23(5), 492–501. <https://doi.org/10.1177/0956797611429134>
- Živković, M., Pellizzoni, S., Doz, E., Cuder, A., Mammarella, I., & Passolunghi, M. C. (2023). Math self-efficacy or anxiety? The role of emotional and motivational contribution in math performance. *Social Psychology of Education: An International Journal*. *Advance online publication*. *Social Psychology of Education* 26(4):1-23. <https://doi.org/10.1007/s11218-023-09760-8>