

Σύγχρονες Τάσεις για την Εμπλοκή της Τεχνολογίας και των Λογισμικών στη Μελέτη της Εγκεφαλικής Λειτουργίας και των Εφαρμογών τους στην Εκπαίδευση

Σταματία Νικηταρά, Ευγένιος Αυγερινός, Ρόζα Βλάχου
pred23004@aegean.gr, eavger@aegean.gr, r.vlachou@aegean.gr
Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Περίληψη

Η νευροεπιστήμη, ως επιστημονικός κλάδος, μελετά το νευρικό σύστημα και τη λειτουργία του εγκεφάλου. Η σύνδεση της 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. Η σύνδεση των δύο επιστημονικών κλάδων έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία, με την έρευνα να αποκαλύπτει πώς οι μαθησιακές διαδικασίες σχετίζονται με τη νευρολογική ανάπτυξη. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν νέες εξελιγμένες τεχνολογίες και θεωρητικά μοντέλα 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. Οι τελευταίες έρευνες μάλιστα, συνεχώς αναπτύσσουν νέες μεθόδους που ενσωματώνουν αυτά τα δεδομένα στην εκπαιδευτική πράξη αλλάζοντας το μέλλον της εκπαίδευσης.

Λέξεις κλειδιά: Νέες Τεχνολογίες, Νευροεπιστήμη, παιδαγωγικές προσεγγίσεις

Εισαγωγή

Σύμφωνα με τον Ayd (2000), "η Νευροεπιστήμη (Neuroscience) ή Νευροβιολογία (Neurobiology) είναι η επιστημονική μελέτη του νευρικού συστήματος". Ο Longstaff (2011) αναφέρει πως είναι ένας διεπιστημονικός κλάδος της βιολογίας. Την ορίζει ως μια διαθεματική επιστήμη που ασχολείται με τη βιοχημεία, την ανατομία, τη μοριακή βιολογία, καθώς και τη φυσιολογία των νευρώνων και των νευρικών κυκλωμάτων.

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).

Εκτός από την τεχνολογική πρόοδο η ανάπτυξη της γνωστικής νευροεπιστήμης επηρεάστηκε σημαντικά, και από τη συνεργασία της με επιστήμες όπως η νευρολογία, η ψυχολογία, η παιδαγωγική και η πληροφορική. Η σύνδεση μεταξύ των ευρημάτων των επιστημών αυτών ασχολείται με την μελέτη της δραστηριότητας του εγκεφάλου που σχετίζεται με τις γνωστικές λειτουργίες. Σε αυτά ακριβώς τα ευρήματα βασίζεται για τη βελτίωση των διδακτικών μεθόδων και πρακτικών η αναδυόμενη επιστήμη της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης (Pincham et al., 2014).

Από τις νευροεπιστήμες στη Γνωστική και Εκπαιδευτική Νευροεπιστήμη

Η προέλευση της γνωστικής νευροεπιστήμης (cognitive neuroscience) μπορεί να εντοπιστεί σε πρώιμες νευρολογικές μελέτες που διερευνήσαν τον εντοπισμό των λειτουργιών του εγκεφάλου. Η εργασία του Paul Broca (1861) για την αφασία (Aphasia) παρείχε εμπειρικά στοιχεία για τη σχέση μεταξύ συγκεκριμένων περιοχών του εγκεφάλου και γλωσσικής επεξεργασίας, καθώς ανακάλυψε ότι η περιοχή του εγκεφάλου που σήμερα ονομάζεται "περιοχή Broca" σχετίζεται με την παραγωγή της γλώσσας. Ο Carl Wernicke (1874) διεύρυνε αυτή την γνώση εντοπίζοντας με την έρευνα του άλλη μία εγκεφαλικά περιοχή που συνδέεται με την κατανόηση της γλώσσας. Στη συνέχεια, ο Santiago Ramón y Cajal το 1906 έθεσε τα θεμέλια της νευροανατομίας μέσω της θεωρίας του νευρώνα. Αυτές οι μελέτες αλλοίωσαν ενίσχυσαν την ιδέα της αρθρωτής εγκεφαλικής λειτουργίας (articulated brain function), μια προοπτική που αργότερα θα επηρέαζε τη γνωστική νευροεπιστήμη (Cognitive Neuroscience) (Gazzaniga, 2018).

Οι εξελίξεις λοιπόν, στη νευροεπιστήμη, ιδιαίτερα στη μελέτη των βλαβών του εγκεφάλου και των ηλεκτροφυσιολογικών καταγραφών, παρείχαν πληροφορίες για τη νευρική βάση της γνώσης και 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).

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). Η εργασία του Gazzaniga σε αυτό το πεδίο επικεντρώθηκε στη σύνθεση των αρχών της γνωστικής επιστήμης με τη νευροεπιστήμη, εστιάζοντας στη μελέτη των σχέσεων μεταξύ εγκεφάλου και γνωστικών διαδικασιών. Η συμβολή του στην κατανόηση της εγκεφαλικά λειτουργίας και των γνωστικών λειτουργιών τον καθόρισε ως έναν από τους κύριους ιδρυτές αυτού του επιστημονικού τομέα. Ο Miller είναι γνωστός για το έργο του πάνω στην ανθρώπινη μνήμη και γνώση και για την έρευνά του σχετικά με την ικανότητα της βραχυπρόθεσμης μνήμης. Οι δύο ερευνητές μαζί, έχουν προχωρήσει σημαντικά την κατανόησή μας για την ανθρώπινη γνώση, τη λειτουργία του εγκεφάλου και την πολυπλοκότητα των νοητικών διεργασιών (Gazzaniga, 2018· Miller, 1956).

Η συμβολή της εξέλιξης των τεχνολογιών στην εμφάνιση της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης

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. Οι ερευνητές χρησιμοποιούν εξελιγμένες τεχνολογίες και θεωρητικά μοντέλα για να διερευνήσουν τη σύνδεση μεταξύ δομής και λειτουργίας του εγκεφάλου (Anderson et al., 2014). Στις αρχές της δεκαετίας η έρευνα επικεντρώθηκε στη χαρτογράφηση των εγκεφαλικών περιοχών που σχετίζονται με γνωστικές λειτουργίες όπως η μνήμη και η γλώσσα (Mahmood et al., 2012).

Την περίοδο 1990-2010 ουσιαστικά πραγματοποιείται η επανάσταση της νευροαπεικόνισης. 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.
- 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 μαθαίνουν οι άνθρωποι. Το νέο αυτό πεδίο προσέφερε νέες δυνατότητες στη διερεύνηση των γνωστικών λειτουργιών και της μαθησιακής διαδικασίας χρησιμοποιώντας σήμερα τεχνικές όπως η ηλεκτροεγκεφαλογραφία (EEG), η λειτουργική μαγνητική τομογραφία (fMRI), η φασματοσκοπία εγγύς υπερύθρου (NIRS) και οι διεπαφές εγκεφάλου-υπολογιστή (BCI) οι οποίες επιτρέπουν την καταγραφή και ανάλυση της εγκεφαλικής δραστηριότητας με ακρίβεια και μη παρεμβατικό τρόπο (Anderson et al., 2014).

Αυτή η τεχνολογική πρόοδος ενισχύει τη δυνατότητα παρακολούθησης της μάθησης "εκ των έσω", φέρνοντας την εκπαίδευση πιο κοντά στη λειτουργία του ανθρώπινου εγκεφάλου. Η αξιοποίηση δεδομένων EEG και BCI στην εκπαιδευτική έρευνα απαιτεί τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών που επιτρέπουν την καταγραφή, επεξεργασία και ερμηνεία των εγκεφαλικών σημάτων. Τα λογισμικά αυτά λειτουργούν σε συνδυασμό με κατάλληλους αισθητήρες και διεπαφές, και ενσωματώνουν τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη γνωστική και συναισθηματική κατάσταση του εκπαιδευόμενου. Καθιστούν δυνατή τη δυναμική ανάλυση των εγκεφαλικών σημάτων και την άμεση σύνδεσή τους με παιδαγωγικές μεταβλητές. Αποτελούν, λοιπόν, εργαλεία με υψηλή δυναμικότητα για την ανάπτυξη εξατομικευμένων και προσαρμοζόμενων μαθησιακών εμπειριών με βάση τα γνωστικά προφίλ των εκπαιδευομένων, βάζοντας τα θεμέλια για την εκπαιδευτική νευροεπιστήμη (Raichle, 1994).

Η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών και νευροεπιστημόνων

Η εκπαίδευση και η γνωστική νευροεπιστήμη 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. Η πραγματική ενοποίηση της εκπαίδευσης με την γνωστική νευροεπιστήμη έγινε δυνατή μόλις μετά την ανάπτυξη προηγμένων μεθόδων νευροαπεικόνισης, όπως η λειτουργική μαγνητική τομογραφία και το ηλεκτροεγκεφαλογράφημα στις δεκαετίες του 1990 και 2000 (Ansari & Coch, 2006).

Στη συνέχεια κατά τη δεκαετία του 2000 η γνωστική νευροεπιστήμη επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει πεδία όπως η εκπαίδευση και η παιδαγωγική. Οι Ansari και 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 συνεργασία της εκπαίδευσης και της γνωστικής νευροεπιστήμης προκάλεσε έντονο ενδιαφέρον και οι δύο αυτοί κλάδοι ήρθαν κοντά μέσω προσπάθειών κατανόησης της νευρολογικής βάσης της μάθησης και της δημιουργίας εκπαιδευτικών παρεμβάσεων βασισμένων σε επιστημονικά τεκμηριωμένα δεδομένα (Ansari & Coch, 2006).

Το 2007 σηματοδότησε τελικά ένα κρίσιμο σημείο για την εδραίωση της εκπαιδευτικής νευροεπιστήμης ως ξεχωριστού κλάδου. Τη χρονιά αυτή, το Centre for Educational Neuroscience στο University College London και το Harvard Mind, Brain, and Education Program ξεκίνησαν πρωτοβουλίες που στόχευαν στη γεφύρωση του χάσματος μεταξύ νευροεπιστήμης και εκπαίδευσης (Thomas et al., 2019). Η εμφάνιση επιστημονικών περιοδικών όπως το Mind, Brain, and Education (ιδρύθηκε το 2007) υπογράμμισε τη σημασία αυτής της αλληλεπίδρασης, ενώ έρευνες έδειξαν ότι η γνώση της εγκεφαλικής λειτουργίας θα μπορούσε να οδηγήσει σε αποτελεσματικότερα διδακτικά μοντέλα (Howard-Jones, 2014).

Η εργασία του De Smedt και των συνεργατών του (2010) υποστήριξε ότι η συνεργασία μεταξύ εκπαιδευτικών και νευροεπιστημόνων θα μπορούσε να προσφέρει νέες στρατηγικές για την υποστήριξη της μάθησης. Η πρόοδος στις τεχνικές απεικόνισης του εγκεφάλου και η κατανόηση των γνωστικών λειτουργιών επέτρεψαν την ανάπτυξη ενός νέου διεπιστημονικού πεδίου, γνωστού ως "εκπαιδευτική νευροεπιστήμη". 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). Οι Pincham et al. (2014), αναφέρουν ότι η εκπαιδευτική νευροεπιστήμη χρησιμοποιεί ευρήματα από τη γνωστική νευροεπιστήμη για να βοηθήσει στη βελτίωση της μάθησης και της διδασκαλίας εξετάζοντας συγκεκριμένα, πώς οι εγκεφαλικοί μηχανισμοί επηρεάζουν τη μάθηση και τη γνωστική ανάπτυξη των μαθητών (Anderson et al., 2014).

Το εκπαιδευτικό σύστημα και τα οφέλη από την εφαρμογή της γνωστικής νευροεπιστήμης

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

1. 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).
2. Οι νευροεπιστημονικές έρευνες συνέβαλαν στην καλύτερη κατανόηση διαταραχών, όπως η Δυσλεξία και η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής Υπερκινητικότητας ή ΔΕΠΥ (Attention Deficit Hyperactivity Disorder ή ADHD) (Gabrieli, 2009).
3. Τεχνολογία και μάθηση: Η χρήση νευροαναδραστικών τεχνολογιών (neurofeedback technologies), όπως τα εγκεφαλικά κύματα, βελτιώνει την προσοχή και τη συγκέντρωση των μαθητών (Tandon & Singh, 2016).

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 μπορεί να επηρεάσει θετικά την απόδοση των μαθητών σε γλωσσικά και μαθηματικά καθήκοντα (Vasylets & Marín, 2021). Συνολικά, η γλωσσική ικανότητα και οι μαθηματικές δεξιότητες φαίνεται να

είναι αλληλένδετες, με την ανάπτυξη της μιας να επηρεάζει θετικά την άλλη. Η κατανόηση αυτής της σχέσης μέσω της νευροεπιστήμης δύναται να συμβάλει στην εξέλιξη των διδακτικών μεθόδων και στην ενίσχυση της μαθησιακής εμπειρίας των μαθητών (Michel et al., 2019).

Την τελευταία δεκαετία η γνωστική νευροεπιστήμη εστιάζει με τεχνολογικά προηγμένες μεθόδους, όπως η νευροτροποποίηση (neuromodulation), στη μελέτη της πλαστικότητας του εγκεφάλου, της τεχνητής νοημοσύνης (artificial intelligence ή AI) και της εφαρμογής νευροεπιστημονικών δεδομένων στην εκπαιδευτική διαδικασία. Μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της γνωστικής νευροεπιστήμης προς όφελος της εκπαίδευσης είναι η μελέτη της μαθησιακής διαδικασίας. Έρευνες δείχνουν ότι ο πολιτισμικός παράγοντας επηρεάζει τον τρόπο με τον οποίο οι μαθητές επεξεργάζονται μαθηματικά δεδομένα, υποδεικνύοντας ότι η γνωστική νευροεπιστήμη μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για την προσαρμογή της εκπαιδευτικής πρακτικής στις ανάγκες των μαθητών (Pincham et al., 2014). Η χρήση ακόμη τεχνολογιών, όπως η παρακολούθηση των ματιών (eye-tracking) και η νευροαπεικόνιση, έχει οδηγήσει σε βελτιωμένες παιδαγωγικές πρακτικές. Τέλος, οι μελέτες του Anderson et al. (2014) δείχνουν ότι οι τεχνολογίες αυτές μπορούν να βοηθήσουν στη διαμόρφωση εξατομικευμένων στρατηγικών μάθησης.

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:

1. 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 και Hamid 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, ενώ η ενεργητική μάθηση προάγει τη νευρολογική συνδεσιμότητα και οδηγεί σε αυξημένη δραστηριότητα του υποκάμπου (Dubinsky & Hamid, 2024).
2. 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. (2022) αναφέρουν ότι τα θετικά συναισθηματικά ερεθίσματα βελτιώνουν την ικανότητα μάθησης, ενεργοποιώντας περιοχές του εγκεφάλου που συνδέονται 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).
3. 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) και προσαρμόζει τις στρατηγικές διδασκαλίας στις ανάγκες του κάθε μαθητή έχοντας αποδειχθεί πιο αποτελεσματική στη βελτίωση των μαθησιακών αποτελεσμάτων. Η πρόσφατη έρευνα της Blakemore (2021) τονίζει ότι οι μαθητές μαθαίνουν 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 δε, επιβεβαιώνουν πως η εξατομίκευση της διδασκαλίας βελτιώνει τη συγκράτηση της γνώσης και ενισχύει την κριτική σκέψη (Lopez & Howard-Jones, 2023).

Πως η νευροεπιστήμη υποστηρίζει τις παιδαγωγικές προσεγγίσεις

Η σύνδεση της εκπαίδευσης με την νευροεπιστήμη αποτελεί έναν τομέα που έχει προσελκύσει μεγάλο ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια. Η σύνδεση των δύο επιστημονικών κλάδων έχει αποκτήσει ιδιαίτερη σημασία, με την έρευνα να αποκαλύπτει πώς οι μαθησιακές διαδικασίες σχετίζονται με τη νευρολογική ανάπτυξη, καθώς 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. Παρέχει αναλυτικές γνώσεις για το πώς οι μαθητές επεξεργάζονται, αποθηκεύουν και ανακαλούν τις πληροφορίες, ενώ οι τελευταίες έρευνες συνεχώς αναπτύσσουν νέες μεθόδους που ενσωματώνουν αυτά τα δεδομένα στην εκπαιδευτική πράξη.

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 Kandel (2001) αναγνώρισε τη σημασία που έχει η πλαστικότητα 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 απομνημόνευσης (Green et al., 2021).

Η μάθηση λοιπόν, είναι μια διαδικασία που αφορά 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 αποδείξει ότι η μάθηση δεν είναι μόνο μια γνωστική διαδικασία, αλλά και μία διαδικασία που επηρεάζεται από κοινωνικούς, συναισθηματικούς και περιβαλλοντικούς παράγοντες. Ο Dolan (2002) στην έρευνα του αναφέρει πως 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.

Η πλαστικότητα του εγκεφάλου επιτρέπει στους μαθητές να μάθουν και να αναπτύξουν νέες δεξιότητες, ακόμα και σε προχωρημένες ηλικίες. Η έρευνα δείχνει ότι οι εκπαιδευτικές στρατηγικές βασισμένες σε νευροεπιστημονικά δεδομένα, που ενισχύουν τη διαδραστικότητα, την πρακτική εφαρμογή και την ενσυναίσθηση, οδηγούν σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα (Jensen, 2005). Η επανάληψη και η εξάσκηση επίσης, ενισχύουν τις συνδέσεις στον εγκέφαλο, επιτρέποντας την καλύτερη απομνημόνευση και κατανόηση των πληροφοριών (Dubinsky & Hamid, 2024).

Νευροεπιστημονες, όπως ο Dehaene (2021), υποστηρίζουν ότι το νευρικό σύστημα του εγκεφάλου επιτρέπει στους μαθητές να συνδυάζουν νέες γνώσεις με τις ήδη υπάρχουσες. Η μάθηση είναι πιο αποτελεσματική όταν οι μαθητές ενεργοποιούν πολλαπλές περιοχές του εγκεφάλου και ενσωματώνουν νέες πληροφορίες σε υφιστάμενα γνωστικά πλαίσια. Αυτό εξηγείται από τη θεωρία της σύνδεσης και του σχηματισμού "γνωστικών δικτύων" στον εγκέφαλο, όπως διατυπώθηκε από τον Dehaene (2021), ο οποίος δείχνει ότι η μάθηση προκύπτει όταν συνδέονται και οργανώνονται οι νέες πληροφορίες με τις παλιές μέσω της ενίσχυσης των νευρικών συνάψεων.

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 εμπλέκονται με την μάθηση και τη μνήμη. Η αμυγδαλή, η οποία σύμφωνα με τον LeDoux (2000) "είναι υπεύθυνη για την επεξεργασία των συναισθημάτων", αλληλοεπιδρά στενά με τον υπόκαμπο, ο οποίος είναι αρμόδιος για τη μνήμη και την αποθήκευση πληροφοριών. Αυτό σημαίνει ότι η συναισθηματική αντίδραση σε ένα γεγονός μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα του ατόμου να το θυμηθεί στο μέλλον.

Έρευνες της 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 περιορίζοντας 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).

Όπως έχει αναδείξει η νευροεπιστήμη, 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 μάλιστα, 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 καθώς η συναισθηματική ασφάλεια και η αίσθηση υποστήριξης ενδυναμώνουν την αφοσίωση και την ικανότητα μάθησης των μαθητών (Panksepp, 2018).

Συμπεράσματα

Η χρήση νέων τεχνολογιών και η πρόοδος των απεικονιστικών τεχνικών συντέλεσαν στη σύνδεση της εκπαίδευσης με την νευροεπιστήμη και οδήγησαν σε καινοτομίες στις παιδαγωγικές στρατηγικές. Η σύγχρονη νευροεπιστημονική έρευνα προσφέρει πολύτιμα δεδομένα για την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο ο εγκέφαλος λειτουργεί και αναπτύσσεται. Βοηθά επίσης στην κατανόηση του τρόπου με τον οποίο εργάζεται κατά τη διάρκεια της μάθησης, επιτρέποντας στους εκπαιδευτικούς να προσαρμόσουν τις μεθόδους τους για να ενισχύσουν τη μαθησιακή εμπειρία και να υιοθετήσουν παιδαγωγικές προσεγγίσεις που συνδυάζουν τις αρχές της νευροεπιστήμης και της ψυχολογίας βελτιώνοντας την εκπαιδευτική διαδικασία.

Η ενσωμάτωση των γνώσεων της νευροεπιστήμης στη διδασκαλία της γλώσσας και 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. Η ενεργητική μάθηση, η συναισθηματική σύνδεση και η εξατομίκευση της διδασκαλίας είναι μερικές από τις στρατηγικές που επωφελούνται από τη συνεργασία της εκπαίδευσης και της νευροεπιστήμης και η εφαρμογή τους στην τάξη μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερα μαθησιακά αποτελέσματα.

Αναφορές

- 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>
- Ayd, F. J. (Ed.). (2000). *Lexicon of psychiatry, neurology, and the neurosciences*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Battro, A. M., Fischer, K. W., & Lena, P. J. (2013). *The educated brain: Essays in neuroeducation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511489907>
- Blakemore, S.-J. (2021). *Inventing ourselves: The secret life of the teenage brain*. Basic Books.
- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie. *Bulletin de la Société Anatomique de Paris*, 6, 330-357.
- Dehaene, S. (2021). *How we learn: Why brains learn better than any machine... for now*. Viking.
- 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*, 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>
- 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>
- 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>
- 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)
- Gazzaniga, M. S. (2018). *The cognitive neurosciences* (5th ed.). MIT Press.
- Goswami U. (2006). Neuroscience and education: from research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7(5), 406-411. <https://doi.org/10.1038/nrn1907>

- 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>
- Howard-Jones, P. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817-824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- 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)
- Jensen, E. (2005). *Teaching with the brain in mind*. ASCD.
- Immordino-Yang, M. H. (2015). Emotion, sociality, and the brain's default mode network: Insights for educational practice and policy. *Policy Insights from the Behavioral and Brain Sciences*, 3(2), 211-219. <https://doi.org/10.1177/2372732216656869>
- 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>
- 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>
- 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>
- 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>
- Longstaff, A. (2011). *BIOS instant notes in neuroscience*. Garland Science.
- Lopez, R. M., & Howard-Jones, P. A. (2023). Personalised learning through a 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>
- Miller, G. A. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review*, 63(2), 81-97. <https://doi.org/10.1037/h0043158>
- 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>
- Panksepp, J. (2018). *Affective neuroscience: The foundations of human and animal emotions*. Oxford University Press.
- Pincham, H. L., Matejko, A. A., Obersteiner, A., Killikelly, C., Abrahao, K., Benavides-Varela, S., Gabriel, F., Rato, J., Vuillier, L. (2014). Forging a new path for Educational Neuroscience: An international young-researcher perspective on combining neuroscience and educational practices. *Trends in Neuroscience and Education*, 3, 28-31. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2014.02.002>
- Raichle, M. E. (1994). Visualizing the mind. *Scientific American*, 270(4), 58-64. <https://www.jstor.org/stable/24942659>
- Shatz C. J. (1992). The developing brain. *Scientific American*, 267(3), 60-67. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0992-60>
- 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, M. S., Ansari, D., & Knowland, V. C. (2019). Annual research review: Educational neuroscience: Progress and prospects. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 60(4), 477-492. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12973>
- Thomas, D., & Brown, J. S. (2012). *Cultivating the imagination in a world of constant change*. Forum Futures. <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>
- Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomencomplex: Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis*. G. Fischer, J. Cohn & Weigert.