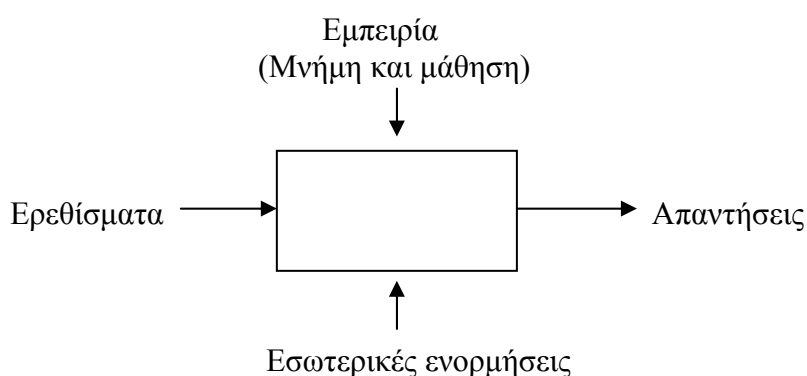


## ΕΓΚΕΦΑΛΟΣ, ΜΑΘΗΣΗ ΚΑΙ ΜΝΗΜΗ

### Μια σύντομη ανασκόπηση των σύγχρονων ερευνών

Ο εγκέφαλος του ανθρώπου έχει συχνά χαρακτηριστεί σαν ένα «μαύρο κουτί» (black box), που δέχεται ερεθίσματα από το περιβάλλον και προκαλεί απαντήσεις, με τη μορφή των διαφόρων συμπεριφορών. Η παραγωγή όμως των απαντήσεων δεν είναι μια παθητική διαδικασία αλλά επηρεάζεται τόσο από την εμπειρία, με τη μορφή της μάθησης και της μνήμης, όσο και από διάφορες εσωτερικές ενορμήσεις (π.χ. συναισθηματικές καταστάσεις).



Τα διάφορα ερεθίσματα (οπτικά, ακουστικά, απτικά, οσφρητικά και γευστικά) εισέρχονται στον εγκέφαλο μέσω των εξειδικευμένων *αισθητικών συστημάτων* του εγκεφαλικού φλοιού. Τα οπτικά ερεθίσματα, για παράδειγμα, κατευθύνονται από τον αμφιβληστροειδή χιτώνα του οφθαλμού στο πίσω μέρος του ινιακού φλοιού του εγκεφάλου, ενώ τα ακουστικά ερεθίσματα κατευθύνονται από τα αυτιά στο άνω μέρος του κροταφικού φλοιού. Οι απαντήσεις, με τη μορφή των κινητικών απαντήσεων, εκπορεύονται από μια περιοχή του οπίσθιου μετωπιαίου λοβού (*σωματοκινητική περιοχή*), τα κύτταρα της οποίας, μέσω του νωτιαίου μυελού, διεγείρουν τα κινητικά νεύρα που κινούν τους μύες του σώματος. Ανάμεσα στις ειδικές αισθητικές περιοχές και τη σωματοαισθητική περιοχή παρεμβάλλονται διάφορες περιοχές του εγκεφαλικού φλοιού που ονομάζονται *συνειρμικές*.

*Μάθηση* είναι η διαδικασία με την οποία ο άνθρωπος και τα ζώα αποκτούν γνώσεις για τον κόσμο. *Μνήμη* είναι η συγκράτηση και η αποθήκευση αυτών των γνώσεων. Στον άνθρωπο, στον οποίο αυτές οι ικανότητες είναι εξαιρετικά ανεπτυγμένες, σχεδόν όλες οι συμπεριφορές περιλαμβάνουν κάποια μορφή μάθησης.

Ο άνθρωπος, όμως, διαθέτει και το μεγαλύτερο εγκέφαλο από όλα τα ζώα, γι' αυτό είμαστε σχεδόν βέβαιοι ότι η ικανότητα μάθησης και μνήμης σχετίζεται με την ανάπτυξη του εγκεφάλου, εξαρτάται από εκλεπτυσμένα εγκεφαλικά κυκλώματα και εντοπίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές του εγκεφάλου. Η τόσο προφανής αυτή άποψη, ωστόσο, άργησε να γίνει αποδεκτή από το σύνολο του επιστημονικού κόσμου. Έως πρόσφατα, υπήρχαν πολλοί επιστήμονες που αρνούνταν να πιστέψουν ότι διάφορες νοητικές λειτουργίες εντοπίζονται σε συγκεκριμένα σημεία του εγκεφάλου και υποστήριζαν ότι η μνήμη κατανέμεται ευρέως σε ολόκληρο τον εγκέφαλο.

Ήταν όμως γνωστό από τα μέσα του περασμένου αιώνα ότι η γλώσσα, η κατεξοχήν ανθρώπινη νοητική ικανότητα, εντοπίζεται σε συγκεκριμένο σημείο του αν-

θρώπινου εγκεφάλου. Ο γάλλος γιατρός Paul Broca, μελετώντας ασθενείς με αφασία, βρήκε ότι όλοι είχαν μια τυπική περιορισμένη βλάβη στον αριστερό μετωπιαίο λοβό του εγκεφάλου, σε μια περιοχή που έκτοτε αποκαλείται «περιοχή του Broca». Μέχρι τα μέσα του 20ού αιώνα, ωστόσο, ελάχιστοι ήταν εκείνοι που υποστήριζαν έναν παρόμοιο εντοπισμό και για άλλες νοητικές λειτουργίες, περιλαμβανομένης της μνήμης και της μάθησης.

Κατά τη δεκαετία του 1940, ένας νευροχειρουργός στο Νευρολογικό Ινστιτούτο του Μόντρεαλ, ο Wilder Penfield, μετά από υπόδειξη του διάσημου δασκάλου του, του πρωτοπόρου νευροφυσιολόγου Charles Sherrington, αποφάσισε να κάνει ένα τολμηρό πείραμα. Δοκίμασε να ερεθίσει με ηλεκτρικό ρεύμα διάφορες περιοχές του εγκεφάλου σε ασθενείς που υποβάλλονταν σε νευροχειρουργικές επεμβάσεις υπό τοπική αναισθησία. Με τον ίδιο τρόπο ο Sherrington είχε ανακαλύψει τις αισθητικές και κινητικές περιοχές του εγκεφάλου σε γάτες, και ο Penfield επιβεβαίωσε την ύπαρξή τους και στον άνθρωπο. Το εντυπωσιακότερο όμως εύρημα του Penfield ήταν ότι με τον ερεθισμό των κροταφικών λοβών, οι ασθενείς, οι οποίοι λόγω της τοπικής αναισθησίας μπορούσαν να επικοινωνούν, περιέγραφαν αναμνήσεις προηγούμενων εμπειριών τους.

Ο ρόλος του κροταφικού λοβού στη μνήμη επιβεβαιώθηκε λίγα χρόνια αργότερα, όταν η συνεργάτιδα του Penfield Brenda Milner μελέτησε έναν ασθενή, τον H.M., ο οποίος είχε υποστεί αμφοτερόπλευρη αφαίρεση των κροταφικών λοβών σε μια προσπάθεια θεραπείας της βαριάς επιληψίας από την οποία έπασχε. Ο H.M., αμέσως μετά την εγχείρηση, παρουσίασε μια τρομακτική απώλεια μνήμης –έχασε την ικανότητα να σχηματίζει νέες μακρόχρονες αναμνήσεις. Ωστόσο, διατηρούσε αναμνήσεις από τα γεγονότα της ζωής του πριν από την εγχείρηση. Θυμόταν το όνομά του, χρησιμοποιούσε πολύ καλά τη γλώσσα και διατηρούσε το δείκτη νοημοσύνης του σε φυσιολογικά επίπεδα. Αυτό που φαινόταν να έχει χάσει ο H.M ήταν η ικανότητά του να μεταφέρει τους περισσότερους τύπους μάθησης από τη βραχύχρονη μνήμη, που διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα ή λεπτά, στη μακρόχρονη μνήμη, που διαρκεί ώρες, μέρες, μήνες ή χρόνια.

Η Milner θεώρησε αρχικά ότι η απώλεια μνήμης μετά από αμφοτερόπλευρη βλάβη στον κροταφικό λοβό αφορούσε εξίσου όλες τις μορφές μάθησης και τη μακρόχρονη μνήμη. Αποδείχτηκε όμως ότι δεν ήταν έτσι. Μολονότι ασθενείς με βλάβες στον κροταφικό λοβό έχουν σοβαρή απώλεια μνήμης, η Milner διαπίστωσε ότι είναι ικανοί να μάθουν και να θυμούνται ορισμένα είδη εργασιών εξίσου καλά με τα φυσιολογικά άτομα επί μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μπορούσαν λ.χ. να μάθουν να συναρμολογούν διάφορα αντικείμενα, να μάθουν να κάνουν ποδήλατο, να μάθουν να ζωγραφίζουν, κλπ. Οι εργασίες αυτές έχουν ένα χαρακτήρα αυτοματισμού και δεν απαιτούν συνειδητή ανάκληση στη μνήμη ή σύνθετες γνωστικές ικανότητες, όπως είναι η σύγκριση ή η εκτίμηση. Ο ασθενής δεν χρειάζεται να θυμάται σκοπίμως τίποτα και το μόνο που χρειάζεται είναι να ανταποκριθεί σε ένα ερέθισμα ή μήνυμα. Συχνά μάλιστα απορεί με τις επιδόσεις του και δεν θυμάται ότι έχει ξανακάνει αυτή την εργασία.

Οι μελέτες λοιπόν με ασθενείς με βλάβη στον κροταφικό λοβό αποκάλυψαν την ύπαρξη δύο τελείως διαφορετικών τρόπων μάθησης. Μαθαίνουμε τι είναι ο κόσμος αποκτώντας γνώσεις για τα άτομα, θέσεις και πράγματα στον κόσμο, τα οποία είναι προσita στη συνείδηση, χρησιμοποιώντας μια μορφή μνήμης που ονομάζουμε *έκδηλη*. Μαθαίνουμε όμως πώς να κάνουμε πράγματα, αποκτώντας αντιληπτικές και κινητικές ικανότητες που είναι απρόσιτες στη συνείδηση, χρησιμοποιώντας την *άδηλη* μνήμη.

## Εγκεφαλική εντόπιση της έκδηλης και της άδηλης μνήμης

Η έκδηλη μνήμη κωδικοποιεί πληροφορίες για αυτοβιογραφικά συμβάντα, καθώς και την τεκμηριωμένη γνώση. Ο σχηματισμός της εξαρτάται από γνωστικές διεργασίες, όπως η εκτίμηση, η σύγκριση και η συνεπαγωγή και ανακαλείται με μια σκόπιμη διαδικασία ανάκλησης. Οι έρευνες του Penfield και της Milner απέδειξαν ότι ο κροταφικός λοβός επεμβαίνει άμεσα στις διαδικασίες της έκδηλης μνήμης, ενώ μεταγενέστερες έρευνες έδειξαν ότι η υπεύθυνη εγκεφαλική δομή είναι ο **ιππόκαμπος**, μια μάζα εγκεφαλικού ιστού που βρίσκεται μέσα στον κροταφικό λοβό και ονομάστηκε έτσι επειδή μοιάζει με το ομώνυμο θαλάσσιο πλάσμα.

Ο ιππόκαμπος αποτελεί παροδικό μόνο χώρο αποθήκευσης της μακρόχρονης μνήμης και μεταβιβάζει τις πληροφορίες που αποκτήθηκαν στον εγκεφαλικό φλοιό για μόνιμη αποθήκευση. Επεξεργάζεται τις πληροφορίες που εισέρχονται από τα αισθητικά συστήματα του εγκεφάλου για μια περίοδο εβδομάδων ή μηνών και τις μεταφέρει σε συγκεκριμένες περιοχές του φλοιού. Ας υποθέσουμε, για παράδειγμα, ότι γνωρίζουμε κάποιο νέο πρόσωπο. Η αισθητική πληροφορία μεταφέρεται από τα μάτια στην οπτική περιοχή του εγκεφάλου, στο οπίσθιο τμήμα του ινιακού λοβού. Από εκεί μεταβιβάζεται σε μια συνειρμική περιοχή του κάτω κροταφικού λοβού, που είναι υπεύθυνη για την αναγνώριση των προσώπων. Παράλληλα, οι οπτικές αυτές πληροφορίες για το πρόσωπο μεταβιβάζονται στον ιππόκαμπο μέσω μιας περιοχής που ονομάζεται ενδορρινικός φλοιός. Αφού υποστούν μια επεξεργασία στον ιππόκαμπο, οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται πιθανώς και πάλι στο συνειρμικό φλοιό του κροταφικού λοβού, απ' όπου είναι διαθέσιμες όποτε χρειαστεί να ανακληθούν, όποτε δηλαδή χρειαστεί να θυμηθούμε το συγκεκριμένο πρόσωπο.

Η άδηλη μνήμη για μια συγκεκριμένη εργασία συνδέεται με τη δραστηριότητα ενός ειδικού αισθητικού και του αντίστοιχου κινητικού συστήματος που παρεμβαίνουν στο μαθησιακό έργο και διατηρείται από μηχανισμούς αποθήκευσης που υπάρχουν σε καθένα από αυτά τα συστήματα. Αυτό σημαίνει ότι η μάθηση που στηρίζεται στην άδηλη μνήμη είτε στηρίζεται σε απ' ευθείας σύνδεση αισθητικών και κινητικών συστημάτων, είτε χρησιμοποιεί ενδιάμεσα συνειρμικές περιοχές του φλοιού, που κι αυτές όμως αποτελούν λειτουργικά των αισθητικών και κινητικών περιοχών. Γι' αυτό λοιπόν έχει προταθεί η διάκριση των άδηλων μορφών μάθησης σε *μη συνειρμικές* και *συνειρμικές*.

Η *μη συνειρμική* μάθηση παρατηρείται όταν το άτομο εκτίθεται μία φορά ή επανειλημμένα σε κάποιο ερέθισμα. Ο *εθισμός*, η *ευαισθητοποίηση* ή η *απευαισθητοποίηση* αποτελούν παραδείγματα αυτού του τύπου μάθησης. Φανταστείτε για παράδειγμα το φόβο που αισθανόσαστε όταν την Κυριακή του Πάσχα σκάσει δίπλα σας το πρώτο βεγγαλικό. Μετά από λίγο όμως συνηθίζετε στην ιδέα και αρχίζετε να την απολαμβάνετε. Η αντίδραση του φόβου ελαττώνεται αυτόματα, χωρίς την ανάγκη συνειδητής επεξεργασίας του φαινομένου. Ο εγκέφαλος προκαλεί αυτόματα μια μείωση της αντίδρασης μέσω απ' ευθείας σύνδεσης των αισθητικών συστημάτων και των συστημάτων εξόδου. Σε ένα παρόμοιο σύστημα στηρίζεται και η μιμητική μάθηση, ένα βασικό στοιχείο απόκτησης της γλώσσας στα παιδιά.

Υπάρχουν ωστόσο και τύποι μάθησης που στηρίζονται στην άδηλη μνήμη αλλά χρησιμοποιούν πιο πολύπλοκα εγκεφαλικά συστήματα, με την έννοια ότι ανάμεσα στο ερέθισμα και την απάντηση παρεμβάλλονται τοπικά συνειρμικά κυκλώματα του εγκεφάλου. Η μάθηση αυτή ονομάζεται *εξαρτημένη* και διαχωρίζεται στην *κλασική εξαρτημένη μάθηση* και τη *συντελεστική εξαρτημένη μάθηση*. Κλασικό παράδειγμα της κλασικής εξαρτημένης μάθησης είναι τα σκυλιά του ρώσου ψυχολόγου Ivan Pavlov, τα οποία παρουσίαζαν έντονη σιελόρροια σε κάθε ερέθισμα που συνδεόταν με την

παρουσία τροφής. Κλασικό παράδειγμα της συντελεστικής εξαρτημένης μάθησης είναι τα ποντίκια του αμερικανού ψυχολόγου B.F. Skinner, τα οποία έμαθαν να παίρνουν την τροφή τους πατώντας διαρκώς ένα μοχλό που βρισκόταν σε μια γωνιά του κλουβιού τους. Και στις δυο περιπτώσεις η μάθηση αποτελεί σύνδεση ενός ερεθίσματος με μια απάντηση. Στην πρώτη το ερέθισμα είναι φυσικό (λ.χ. ένα καμπανάκι που προηγείται της τροφής), στη δεύτερη είναι μια απάντηση (πάτημα του μοχλού).

Οι εγκεφαλικοί μηχανισμοί που ελέγχουν τη συνειρμική και τη μη συνειρμική μάθηση είναι εντελώς διαφορετικοί από αυτούς που ελέγχουν τη μάθηση μέσω της έκδηλης μνήμης. Η απευαισθητοποίηση στα ερεθίσματα του φόβου λ.χ. που παρατηρείται στα βεγγαλικά του Πάσχα εξαρτάται από τη δραστηριότητα μιας ομάδας πυρήνων του εγκεφάλου που ονομάζονται πυρήνες της αμυγδαλής, ενώ στη συντελεστική εξαρτημένη μάθηση, εκτός των αισθητικών και κινητικών συστημάτων του φλοιού παρεμβαίνει και η *παρεγκεφαλίδα*. Η παρεγκεφαλίδα, που συνιστά ουσιαστικά ένα δεύτερο εγκέφαλο κάτω από τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, επεξεργάζεται αισθητικές και κινητικές πληροφορίες και διαμορφώνει τις κινητικές απαντήσεις ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος (προσαρμόζει λ.χ. τις διάφορες κινήσεις ανάλογα με τη θέση του σώματος).

## Η φυσιολογία και η παθοφυσιολογία της μάθησης

Από αυτά που αναφέρθηκαν παραπάνω προκύπτει το εύλογο συμπέρασμα ότι οι διαδικασίες της μάθησης εξαρτώνται από τους εγκεφαλικούς μηχανισμούς της μνήμης. Η δραματική περίπτωση του ασθενούς HM δείχνει ότι μια εγκεφαλική βλάβη μπορεί να επηρεάσει τη μνήμη και τη μάθηση. Ισχύει όμως και το αντίστροφο; Μνημονικές και μαθησιακές διαταραχές που παρατηρούμε σε συγκεκριμένους ανθρώπους μπορεί να οφείλονται σε εγκεφαλικές βλάβες ή διαταραχές;

Μεγάλο βάρος της έρευνας ρίχτηκε στις γεροντικές και προγεροντικές άνοιες, όπως η νόσος του Alzheimer, για διάφορους λόγους (ένας από τους οποίους ήταν και η προσβολή του πρώην προέδρου των ΗΠΑ Ronald Reagan από τη νόσο του Alzheimer). Κοινή διαπίστωση όλων των σχετικών ερευνών είναι ότι αυτές οι νόσοι οφείλονται σε εγκεφαλικές διαταραχές, γενετικής κυρίως αιτιολογίας, που εκφράζονται με απώλεια εγκεφαλικού ιστού στις συνειρμικές περιοχές του εγκεφάλου, οι οποίες σχετίζονται με τη λειτουργία της έκδηλης μνήμης.

Η απώλεια ωστόσο του εγκεφαλικού ιστού είναι αναμενόμενη στους ηλικιωμένους ανθρώπους, επειδή τα νευρικά κύτταρα, σε αντίθεση με άλλα κύτταρα του σώματος, δεν αναγεννιούνται. Τι συμβαίνει όμως με τα μικρά παιδιά, τα οποία παρουσιάζουν μαθησιακές δυσκολίες στα πρώτα χρόνια της ζωής, σε περιόδους όπου αναπτύσσεται εγκέφαλος και γεννιούνται διαρκώς νέα νευρικά κύτταρα;

Ανάμεσα στις μαθησιακές δυσκολίες της παιδικής ηλικίας κυρίαρχο ρόλο φαίνεται να παίζει η δυσλεξία, η αδυναμία της μάθησης της ανάγνωσης, η οποία πολλές φορές παρουσιάζεται σε παιδιά με αυξημένο δείκτη νοημοσύνης (ο Αϊνστάϊν, λ.χ. υπέφερε από αυτήν την αδυναμία). Μέχρι πρόσφατα, ψυχολόγοι και εκπαιδευτικοί πίστευαν ότι η δυσλεξία οφείλεται σε περιβαλλοντικούς παράγοντες, σε γενικά προβλήματα επικοινωνίας του παιδιού, ή αποτελούσε μηχανισμό άμυνας του παιδιού σε περιβαλλοντικούς παράγοντες. Το 1979 διαπιστώθηκε για πρώτη φορά ότι η δυσλεξία μπορεί να οφείλεται σε ανατομικές ανωμαλίες του εγκεφάλου. Το αριστερό ημισφαίριο ενός ασθενούς που πέθανε σε ένα ατύχημα έδειξε ανωμαλίες που εντοπίζονταν στις περιοχές που είναι υπεύθυνες για τη γλώσσα.

Στα χρόνια που ακολούθησαν έγιναν πολλές έρευνες με τη χρήση των σύγχρονων απεικονιστικών μεθόδων του εγκεφάλου (f-MRI –λειτουργική μαγνητική τομογραφία, PET –τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων, κ.ά.) και όλες συγκλίνουν στην άποψη ότι η δυσλεξία οφείλεται σε μια «ανορθόδοξη» μάθηση της ανάγνωσης. Όταν μιλάμε, ακούμε τις λέξεις με τα αυτιά μας, επεξεργαζόμαστε αυτήν την ακουστική πληροφορία με κάποια νευρικά κυκλώματα που βρίσκονται στον κροταφικό λοβό (όπου πιθανόν βρίσκεται ένας αποκωδικοποιητής των ήχων σε λέξεις), και η πληροφορία αυτή μεταφέρεται στην περιοχή του Broca του μετωπιαίου λοβού, απ' όπου μεταβιβάζεται στις κινητικές περιοχές που ελέγχουν τα χείλη και τη γλώσσα για να μιλήσουμε. Όταν όμως διαβάζουμε, ενεργοποιείται ένα διαφορετικό κύκλωμα. Από την οπτική περιοχή του ινιακού λοβού, η πληροφορία μεταφέρεται σε μια διαφορετική περιοχή (στη γωνιώδη έλικα στο όριο κροταφικού και ινιακού λοβού, όπου γίνεται η αποκωδικοποίηση του οπτικού ερεθίσματος σε λέξεις), από την οποία μεταβιβάζεται στην περιοχή του Broca για να παραχθεί ο λόγος. Τα δυσλεκτικά άτομα δεν χρησιμοποιούν για την αποκωδικοποίηση των λέξεων τη γωνιώδη έλικα αλλά τις περιοχές που είναι υπεύθυνες για την ακουστική αποκωδικοποίηση των λέξεων. Γράφουν ό,τι ακούν και, όταν διαβάζουν, διαβάζουν και γράφουν αυτό που αποκωδικοποιεί η ακουστική και όχι η οπτική περιοχή του εγκεφάλου τους.

Δεν γνωρίζουμε ακόμη την πηγή αυτής της διαταραχής. Πιθανόν να οφείλεται σε γενετικούς κληρονομικούς παράγοντες ή σε αναπτυξιακούς παράγοντες που δρουν κατά την εμβρυϊκή ή την πρώιμη βρεφική ηλικία. Πιθανόν ακόμη να παίζουν κάποιο ρόλο και ορισμένοι περιβαλλοντικοί παράγοντες που δρουν σε αυτές τις ευαίσθητες περιόδους. Το συμπέρασμα πάντως είναι ότι η δυσλεξία, καθώς και άλλες μαθησιακές δυσκολίες, δεν αντανακλούν μόνο περιβαλλοντολογικά προβλήματα αλλά και μια παθολογική φυσιολογία του εγκεφάλου, για την οποία γνωρίζουμε ελάχιστα πράγματα. Δεν γνωρίζουμε γιατί ο εγκέφαλος των δυσλεκτικών παιδιών αποκωδικοποιεί τα γραπτά μηνύματα ως ακουστικά. Όπως δεν γνωρίζουμε γιατί κάποιοι άνθρωποι παθαίνουν γεροντική άνοια και κάποιοι άλλοι φτάνουν σε βαθιά γεράματα χωρίς την παραμικρή γνωστική δυσλειτουργία. Ελπίζουμε ότι η μελέτη του εγκεφάλου, σε συνδυασμό με τις μελέτες της γνωστικής και της αναπτυξιακής ψυχολογίας, θα οδηγήσει σύντομα σε ένα ολοκληρωμένο μοντέλο μάθησης, θα καταλήξει σε μια τελική συνθετική θεωρία και θα απαντήσει σε αυτά τα ερωτήματα, προβλέποντας λύσεις και καταξιώνοντας θεραπείες. Μέχρι τότε, πάντως, η μελέτη του εγκεφάλου πρέπει να αποτελεί συστατικό στόχο κάθε προσπάθειας κατανόησης της ανθρώπινης συμπεριφοράς, φυσιολογικής ή παθολογικής.

## Βιβλιογραφία

1. Kandel E.R., Schwartz J.H. and Jessell T.M. (1995) *Essentials of Neural Science and Behavior*, Appleton and Lange, μετάφραση από τις Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, 1997.
2. Καφετζόπουλος Ε. (1995) *Εγκέφαλος, συνείδηση και συμπεριφορά*, Εκδόσεις Εξάντας, Αθήνα.
3. Shaywitz S.E (1996) "Dyslexia", *Scientific American*, Nov. 1996, pp. 78-84.