

Μετωπιαίοι λοβοί και εκπαίδευση

Καραπέτσας, Α¹., & Λαδόπουλος, Ε^{**}

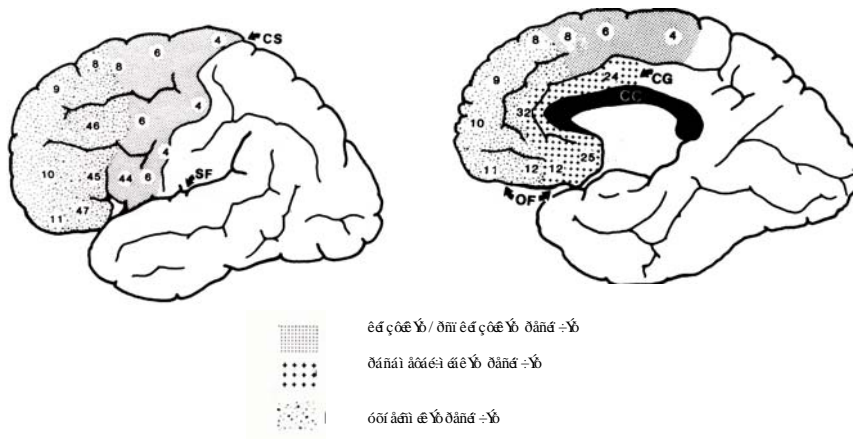
Περίληψη

Ο τίτλος αυτού του άρθρου αποσαφηνίζει την πρόθεσή μας: η μελέτη της λειτουργίας των μετωπιαίων συστημάτων και η συμβολή τους στην ανάπτυξη των κυριότερων σχολικών δεξιοτήτων (ανάγνωση, γραφή, μαθηματικά). Οι μετωπιαίοι λοβοί είναι μέρος του νεοφλοιού και μόνο στον άνθρωπο εμφανίζουν τόσο μεγάλη ανάπτυξη. Χωρίς την ανάπτυξη των μετωπιαίων λοβών στον ανθρώπινο εγκέφαλο (ειδικά των γλωσσικών περιοχών), ο ανθρώπινος πολιτισμός ποτέ δεν θα είχε εξελιχθεί. Αυτοί οργανώνουν όλες τις ανώτερες διανοητικές λειτουργίες και έχουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχία ή αποτυχία κάθε ανθρώπινης πράξης. Οι μετωπιαίοι λοβοί είναι «ο ηγέτης» όλων των δομών του εγκεφάλου και διαθέτουν μοναδικές συνδέσεις που τους επιτρέπουν να αλληλεπιδρούν με αυτές και να τις ρυθμίζουν. Στόχος μας είναι να εξετάσουμε πώς η λειτουργία των μετωπιαίων λοβών μεσολαβεί σε διάφορες πλευρές της γνωστικής ανάπτυξης και ιδιαίτερα στην ανάπτυξη των ικανοτήτων της ανάγνωσης, της γραφής και των μαθηματικών.

Λέξεις κλειδιά: μετωπιαίοι λοβοί, μαθηματικά, γραφή, ανάγνωση.

¹ Ο Καραπέτσας Α., είναι καθηγητής νευροψυχολογίας και νευρογλωσσολογίας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

^{**} Ο Λαδόπουλος Ε., είναι υποψήφιος διδάκτορας στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



Σχήμα 1. Πλευρική (αριστερά) και μεσιακή (δεξιά) άποψη των μετωπιαίων λοβών. Οι αριθμοί αναφέρονται στην ονοματοθεσία του Brodman (Brodman, 1909). CC (corpus callosum) : μεσολόβιο, CG (cingulate gyrus): προσαγωγή έλικα, CS (central sulcus): κεντρική αύλακα, OF (orbitofrontal surface): κογχομετωπιαία επιφάνεια, SF (Sylvian fissure): σχισμή Sylvian (Πηγή: Marsel - Mesulam, M. 2002)

1. Εισαγωγή

Οι μοναδικές ικανότητες της μάθησης και της εκπαίδευσης διακρίνουν τον άνθρωπο από τα υπόλοιπα έμβια όντα και φαίνεται να οφείλονται στη λειτουργία του εγκεφάλου. Ακόμη και τα έμβρυα ή τα νεογέννητα που δεν έχουν υποβληθεί σε εκπαίδευση οποιουδήποτε είδους είναι σε θέση να κινούν τα χέρια και τα πόδια τους, ώστε αναμένεται πως τα βασικά προγράμματα μιας τέτοιας συμπεριφοράς βρίσκονται στον εγκεφαλο.

Η βασική αρχιτεκτονική του εγκεφάλου διαμορφώνεται από τις πληροφορίες των γονιδίων, ωστόσο υπάρχει μεγάλος χώρος και για επιγενετικές διαδικασίες. Ο εγκεφαλος άλλωστε, είναι ανοιχτός στα ερεθίσματα, τα οποία προκαλούν τη δημιουργία νέων νευρωνικών συνδέσεων και επιτρέπουν καλύτερη προσαρμογή στο περιβάλλον. Παρομοίως, η μάθηση και η εκπαίδευση συνδέονται στενά με τις επιγενετικές διαδικασίες ενώ το βασικό πλαίσιο τους καθορίζεται γενετικά (Koizumi, 2004).

Ωστόσο οι διαδικασίες της μάθησης, οι ανώτερες διανοητικές λειτουργίες, που αντιπροσωπεύονται και από τους μετωπιαίους λοβούς, συγκεντρώνουν το ενδιαφέρον των νευροψυχολόγων. Από την πλευρά τους θεωρούν ότι η μάθηση είναι μια διαδικασία διαμόρφωσης νέων συνάψε-

ων μεταξύ των νευρώνων, ως απάντηση σε νέα περιβαλλοντικά ερεθίσματα αλλά και ως επεξεργασία ελέγχου και αποδοχής των κατάλληλων ερεθισμάτων (Koizumi, 2004).

Η μάθηση με διδασκαλία, η εκπαίδευση, αποτέλεσε σημαντική πλευρά των κοινωνιών κατά την Ελληνική κλασική περίοδο. Θεωρούσαν την καλή εκπαίδευση, με έμφαση στο υγιές πνεύμα και σώμα, θεμέλιο ενός δυνατού Έθνους. Γενικά η έννοια της λέξης εκπαίδευση συνίσταται στην φροντίδα της σωματικής και πνευματικής ανάπτυξης των παιδιών. Η ρίζα της βρίσκεται στη Λατινική λέξη *educatus* (*e-ducatus*) και αναφέρεται στην χειραγωγούμενη μάθηση (Koizumi, 2004). Με την εκπαίδευση, οι έμφυτες τάσεις δραστηριοποιούνται και οργανώνονται νέες απαραίτητες συμπεριφορές για τη ζωή. Η εκπαίδευση δηλαδή, είναι μια διαδικασία ευνοϊκής προσαρμογής, που καθοδηγεί τη μάθηση. Σύμφωνα και με νεότερες απόψεις, η εκπαίδευση πρέπει να είναι σχεδιασμένη, ώστε να διασφαλίσει την παραπέρα ανάπτυξη του εγκεφάλου και των λειτουργιών του (Geake, 2003).

Στην εποχή μας, η δεκαετία του 1990, ονομάστηκε, «Η δεκαετία του εγκεφάλου» από την Αμερικάνικη προεδρεία. Πράγματι, την προηγούμενη δεκαετία, με τη συμβολή και των νέων μεθόδων νευροαπεικόνισης, μάθαμε για τη λειτουργία του εγκεφάλου, περισσότερο από ό,τι σε όλη την ιστορία της ανθρώπινης έρευνας (Bruer, 1999). Σε παγκόσμιο επίπεδο εγκρίθηκαν πολλά εκπαιδευτικά προγράμματα με αντικείμενο την ανάπτυξη και λειτουργία του ανθρωπίνου εγκεφάλου, ενώ εκδηλώθηκε και πανεπιστημιακό ενδιαφέρον όσον αφορά την σύνδεση της έρευνας του εγκεφάλου με την εκπαίδευση. Πολλά επιστημονικά συμπόσια και συνέδρια αναζήτησαν μεθόδους για εφαρμογή των ευρημάτων των νευροεπιστημών στην εκπαίδευση. Μάλιστα γι' αυτόν τον σκοπό εκφράστηκε και η ανάγκη κατάρτισης ενός νέου εκπαιδευτικού, «του νευροεκπαιδευτικού» (Καραπέτσας, 1988).

Με αφορμή αυτόν τον προβληματισμό, θα αναφερθούμε στο ανώτερο λειτουργικό σύστημα του εγκεφάλου τους μετωπιαίους λοβούς, αναζητώντας τα επιστημονικά δεδομένα που φωτίζουν την συμβολή αυτού του νευρικού δικτύου στην απόκτηση των ικανοτήτων της μάθησης και της εκπαίδευσης. Εντοπίζουμε τη θέση τους ανάμεσα στις άλλες εγκεφαλικές δομές και τις συνδέσεις τους με αυτές, ενώ χαρτογραφούμε τις πιο σημαντικές τους περιοχές και παρουσιάζουμε τις πιο αντιπροσωπευτικές τους λειτουργίες. Στόχος μας είναι να επικεντρωθούμε στη συμπεριφορά του παιδιού παρατηρώντας τις περιόδους νευροωρίμανσης και ανάπτυξης των μετωπιαίων λοβών. Με ανασκόπηση της σύγχρονης βι-

Καραπέτσας Α., Λαδόπουλος Ε.

βλιογραφίας, παρουσιάζουμε συμπεράσματα σύγχρονων νευροψυχολογικών ερευνών, που ερμηνεύουν τη συμβολή των μετωπιαίων λοβών σε τρεις από τις πιο κρίσιμες εκπαιδευτικές ικανότητες, την ανάγνωση, τη γραφή και τα μαθηματικά.

2. Νευροψυχολογία και Εκπαιδευτικές παρεμβάσεις

Οι νευροαπεικονιστικές μέθοδοι έχουν αποκαλύψει την ύπαρξη κοινών νευρωνικών δικτύων (π.χ μετωπιαίοι λοβοί) για σημαντικές μαθησιακές ικανότητες ενώ υπάρχουν ενδείξεις πως τα γονίδια και η εμπειρία συμβάλλουν στην ανάπτυξη τους. Όμως, μπορούν οι εκπαιδευτικές παρεμβάσεις να διαφοροποιήσουν τα νευρωνικά δίκτυα που συνδέονται με τη μάθηση;

Δεν γνωρίζουμε αν η εκπαίδευση μπορεί να αλλάξει τη λειτουργία των γονιδίων, όμως υπάρχουν στοιχεία ότι οι εκπαιδευτικές εμπειρίες μπορούν να επηρεάσουν την λειτουργική ανατομία του εγκεφάλου των παιδιών (OECD, 2002). Ωστόσο, προκειμένου να επιχειρηθεί σύνδεση των συμπερασμάτων της επιστήμης του εγκεφάλου στην εκπαίδευση, είναι απαραίτητη η γνώση των ιδιοτήτων πλαστικότητας του εγκεφάλου.

3. Πλαστικότητα εγκεφάλου και ευαίσθητες περιοδοί μάθησης

Πότε ο εγκέφαλος είναι περισσότερο έτοιμος να δεχτεί τη μάθηση; Σήμερα υπάρχουν σημαντικά στοιχεία ότι το μεγαλύτερο μέρος του εγκεφάλου ωριμάζει από πολύ νωρίς, ενδεχομένως στην ηλικία των 6. Σε αυτό το γεγονός βασίζεται και ο καθορισμός του κατάλληλου αναπτυξιακού σταδίου για την εισαγωγή των παιδιών στην πρωτοβάθμια εκπαίδευση (OECD, 2002).

Ο εγκέφαλος φαίνεται να αναπτύσσεται σταδιακά, ξεκινώντας από τις περιοχές που είναι υπεύθυνες για τις αισθητικές και κινητικές λειτουργίες (π.χ., κινητικές περιοχές μετωπιαίων και οπίσθιες περιοχές του εγκεφάλου) καταλήγοντας σε εκείνες που ελέγχουν τις ανώτερες διανοητικές

λειτουργίες (προμετωπιαίοι) (NIMH, 2004). Ωστόσο οι διαδικασίες συναπτογένεσης φαίνεται όλο και περισσότερο ότι δεν περιορίζονται στην αρχή της παιδικής ηλικίας. Σημάδια πλαστικότητας ως αντίδραση στις νέες περιβαλλοντικές απαιτήσεις εμφανίζονται καθ' όλη τη διάρκεια της ενήλικης ζωής (Hall, 2005).

Η ειδική περίοδος ανάπτυξης για κάθε εγκεφαλική λειτουργία ονομάζεται «κρίσιμη περίοδος», ή «ευαίσθητη περίοδος». Υπάρχει η υπόθεση ότι η περίοδος μέγιστης συναπτογένεσης αντιστοιχεί σε μια περίοδο μέγιστης εκμάθησης και ότι όσο περισσότερες συνάψεις υπάρχουν, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ικανότητα επεξεργασίας του εγκεφάλου. Όμως η ιδέα των «κρίσιμων περιόδων» ισχύει μόνο για μερικές μορφές εκμάθησης (Bruer, 1999) και δεν περιορίζεται στα πρώτα χρόνια της παιδικής ηλικίας.

4. Λειτουργία των μετωπιαίων λοβών

Οι μετωπιαίοι λοβοί μόνο στον άνθρωπο καλύπτουν το 1/3 του εγκεφαλικού φλοιού και ονομάζονται έτσι γιατί βρίσκονται πίσω ακριβώς από το μέτωπο καλύπτοντας την πιο προωθημένη περιοχή του εγκεφάλου (Σχήμα 1). Αυτή τους η θέση δεν είναι τυχαία, αφού απαρτιώνουν όλες τις πληροφορίες που συγκεντρώνονται από τις οπίσθιες αισθητικές περιοχές (Καραπέτσας, 1988. Λούρια, 1998).

Οι μετωπιαίοι λοβοί αποτελούνται από ανατομικά λειτουργικά υποσυστήματα, (1) της κύρια κινητικής περιοχής, (2) της προκινητικής περιοχής, (3) και του προμετωπιαίου. Η κύρια κινητική περιοχή (BA 4) βρίσκεται ακριβώς μπροστά από την κεντρική αύλακα και ελέγχει τις απλές κινήσεις ενώ έχει συνδέσεις με την παρεγκεφαλίδα, τα βασικά γάγγλια και το θάλαμο (Mesulam, 2002). Ο προκινητικός φλοιός και ο συμπληρωματικός κινητικός (BA 6), βρίσκονται μπροστά από τον κύριο κινητικό φλοιό και προγραμματίζουν και ελέγχουν τις λεπτές και ανώτερες κινητικές λειτουργίες των μελών του σώματος. Η συμπληρωματική περιοχή περιλαμβάνει τα μετωπιαία οπτικά πεδία (BA 8) και την περιοχή Broca, το κινητικό κέντρο της ομιλίας, στο πόδι της τρίτης μετωπιαίας έλικας. Κοντά σε αυτήν την περιοχή του συμπληρωματικού κινητικού φλοιού, στο πόδι της δεύτερης μετωπιαίας έλικας, βρίσκεται η περιοχή Exner που ελέγχει τις λεπτές κινήσεις των χεριών και οι διαταραχές σε αυτήν την περιοχή προκαλούν αγραφία (Exner, 1881).

Καραπέτσας Α., Λαδόπουλος Ε.

Όλος ο φλοιός μπροστά από τον συμπληρωματικό κινητικό είναι ο προμετωπιαίος (περιοχές BA 8, 9, 10, 12, 44, 45, 46, 47 και 9/46) (Diamond, 2002). Είναι μια εξαιρετικά μεγάλη περιοχή και οι λειτουργίες του αντιπροσωπεύονται από τρεις βασικές περιοχές: την πλάγια (dorsal prefrontal), την κογχιαία (orbital prefrontal) και τη μεσιακή (medial prefrontal) (Lezak, 1995. Fuster, 1999. Alexander & Stuss, 2000).

Ο πλαγιοπίσθιος προμετωπιαίος (dorsolateral prefrontal) είναι περιοχή του πλάγιου προμετωπιαίου και εκτείνεται μεταξύ της ανώτερης και μεσαίας μετωπιαίας έλικας (περιοχές BA 9,46,8,10). Η πλαγιοπίσθια περιοχή ελέγχει ανώτερες διανοητικές λειτουργίες (εργαζόμενη μνήμη, προσοχή) (Fuster, 1999. Stuss et al., 2000. Kroger et al., 2002). Λόγω των ισχυρών αμοιβαίων συνδέσεων με τους βρεγματικούς, ινιακούς, και κροταφικούς λοβούς, ο πλαγιοπίσθιος προμετωπιαίος φλοιός λαμβάνει υψηλού επιπέδου ακουστικές, σωματοαισθητικές, και οπτικές πληροφορίες (Kaufer & Lewis, 1999). Επιπλέον, αυτή η περιοχή έχει συνδέσεις και με δομές του μεταιχμιακού συστήματος.

Οι περιοχές BA 44, 45 και BA 47/12 οι οποίες επεκτείνονται στην κατώτερη μετωπιαία έλικα αποτελούν τον κοιλιοπλάγιο προμετωπιαίο και απαρτίζουν μαζί με τον πλαγιοπίσθιο προμετωπιαίο την πλευρική περιοχή του προμετωπιαίου. Αυτή η περιοχή ταυτίζεται με τον δρεπανοειδή συνειρμικό φλοιό και συνδέεται με καταστάσεις εγρήγορσης του οργανισμού και συναισθηματικές εκδηλώσεις καθώς και με έλεγχο των αναστολών.

Η περιοχή BA 11 και το ρύγχος της περιοχής BA 12 αντιστοιχούν στον κογχομετωπιαίο φλοιό. Ο κογχομετωπιαίος φλοιός συμβάλλει στην ανάπτυξη της κοινωνικής συμπεριφοράς, ενώ βλάβη αυτής της περιοχής προκαλεί συχνά αλλαγή της προσωπικότητας με αδυναμία ενσυναίσθησης, οξυθυμία, συναισθηματική αστάθεια, έλλειψη αναστολών, και ευφορία (Harlow, 1848, 1868. Fuster, 1999). Η κογχιακή περιοχή του προμετωπιαίου φλοιού έχει ισχυρές συνδέσεις με την μεταιχμιακή περιοχή, και θεωρείται ότι ενσωματώνει πληροφορίες σχετικά με συναισθηματικές καταστάσεις (Mesulam, 2002). Γενικά ελέγχει τη συναισθηματική συμπεριφορά και επιπλέον μεσολαβεί στην καταστολή των διασπάσεων της προσοχής.

Ο μεσιακός προμετωπιαίος φλοιός είναι μέρος ενός νευρικού συστήματος που περιλαμβάνει κυρίως την πρόσθια προσαγωγή έλικα και το κοιλιακό ραβδωτό σώμα (Selemon & Goldman - Rakic, 1985). Κατά συνέπεια, οι μεσιακές περιοχές είναι συνδεδεμένες με μεταιχμιακές δομές. Ο μεσιακός προμετωπιαίος φλοιός ελέγχει συμπεριφορές σχετικές με την εμφάνιση των κινήτρων (Fuster, 1999). Ασθενείς με βλάβη σε αυτήν

την περιοχή εμφανίζουν απάθεια, μειωμένο ενδιαφέρον για ανάπτυξη πρωτοβουλιών, έλλειψη αυθορμητισμού και προσοχής (Fuster, 1989. Lezak, 1995.).

Από όλες τις φλοιώδεις περιοχές, ο προμετωπιαίος φλοιός έχει τις μεγαλύτερες συνδέσεις, λαμβάνοντας και προβάλλοντας νευρικές ίνες σε πολυάριθμες δομές μέσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα (Fuster, 1989. Zald & Kim, 1996). Εκτός από τα νευρικά κυκλώματα, διάφορα συστήματα νευροδιαβιβαστών συγκλίνουν στον προμετωπιαίο φλοιό. Οι πιο σημαντικοί είναι η γλουταμάτη, η ντοπαμίνη, η ακετυλχολίνη, η σεροτονίνη και διάφορα νευροπεπτίδια (Fuster, 1989).

Συνεπώς, ο προμετωπιαίος φλοιός αποτελεί μια από τις συνειρμικές εγκεφαλικές περιοχές και είναι η έδρα των γνωστικών ικανοτήτων (μνήμη, προγραμματισμός, εκτέλεση πράξεων).

5. Νευροχημική ωρίμανση προμετωπιαίων

Από τον έβδομο περίπου μήνα, ξεκινά η ανάπτυξη των δενδριτών στους πυραμιδικούς νευρώνες του πλάγιου προμετωπιαίου, η οποία συνεχίζεται ως το δωδέκατο μήνα (Koenderink et al., 1994). Παράλληλα το ίδιο χρονικό διάστημα αυξάνεται η κυτταρική επιφάνεια αυτών των νευρώνων καθώς και το επίπεδο μεταβολισμού της γλυκόζης στον πλαγιόπισθιο προμετωπιαίο (Chugani & Phelps, 1986).

Στον πρώτο χρόνο ζωής εκκρίνεται ντοπαμίνη στον προμετωπιαίο η οποία είναι σημαντική για την ανάπτυξη των γνωστικών λειτουργιών που υποστηρίζονται από αυτόν (Diamond et al., 1997. Diamond, 2001). Η ακετυλχολινεστεράση επίσης, ένα σημαντικό ένζυμο για το μεταβολισμό του νευροδιαβιβαστή της ακετυλχολίνης, εμφανίζεται σε ποικίλες στοιβάδες του προμετωπιαίου κατά τις δραματικές αλλαγές που συμβαίνουν στον πρώτο χρόνο της ζωής.

Υπάρχει μια δραματική μείωση στην πυκνότητα των νευρώνων του πλάγιου προμετωπιαίου μεταξύ δύο και επτά ετών (Huttenlocher, 1990). Ωστόσο την ίδια περίοδο σημαντική είναι η επέκταση των δενδριτών στην τρίτη στιβάδα των πυραμιδικών κυττάρων του πλάγιου προμετωπιαίου (Mrzljak et al., 1990). Επιπλέον η πυκνότητα των νευροπεπτιδίων στον πλάγιο προμετωπιαίο μεγαλώνει μεταξύ δεύτερου, τέταρτου έτους και έκτου και έβδομου έτους (DeLalle et al., 1997).

Η μυελίνωση στον προμετωπιαίο, η οποία συμβαίνει μαζί με την συναπτογένεση, δεν φτάνει στα επίπεδα των ενηλίκων παρά μόνο κατά την εφηβεία. Ο Giedd και συν. το 1999 σε έρευνα με χρήση MRI (μαγνητική τομογραφία) παρατήρησαν ότι το μέγεθος του λευκού υγρού (μυελινομένοι άξονες) αυξάνεται στον μετωπιαίο από το τέταρτο ως το δεκατο τρίτο έτος.

Οι αναπτυξιακές αλλαγές στον προμετωπιαίο συνεχίζονται ως την ενηλικίωση. Ο Sowell και συν. (1999) ανέφεραν ότι υπάρχει μείωση στην πυκνότητα του γκρι υγρού (μη μυελινομένοι άξονες, κυτταρικό σώμα) στους μετωπιαίους λοβούς μεταξύ εφηβείας (12-16 ετών), και ενηλικίωσης (23-30 ετών) όπως και στο ραβδωτό σώμα (μεσολόβιο, ωχρά σφαίρα).

Φαίνεται να υπάρχει μια ιεραρχική πρόοδος μέσα στο κεντρικό νευρικό σύστημα, με το εγκεφαλικό στέλεχος και τις παρεγκεφαλιδικές περιοχές να αναπτύσσονται πρώτα, και να ακολουθούν οι οπίσθιες περιοχές, ενώ οι μετωπιαίες περιοχές ωριμάζουν αργότερα (Jernigan & Tallal, 1990. Fuster, 1993).

6. Νευροψυχολογικά ευρήματα για την ανάπτυξη των προμετωπιαίων

Οι ικανότητες της εργαζόμενης μνήμης και της προσοχής εντοπίζονται στους προμετωπιαίους και ιδιαίτερα στον πλαγιοπίσθιο προμετωπιαίο (Diamond, 2002). Από νευροψυχολογικές έρευνες σε παιδιά και εφήβους με χρήση δοκιμών που αξιολογούν αυτές τις ικανότητες παρουσιάζουμε συμπεράσματα για την ανάπτυξη των προμετωπιαίων.

Ύστερα από πειράματα με χρήση της δοκιμής «A not B error», (σε μία από τις δύο θέσεις-στόχους (A)-(B) κρύβεται ένα αντικείμενο το οποίο καλείται να ανακαλύψει το παιδί μετά από συγκεκριμένη καθυστέρηση) που αξιολογεί την ικανότητα εργαζόμενης μνήμης στα βρέφη, βρέθηκε ότι στους επτά περίπου μήνες ξεκινά η ανάπτυξη του πλάγιου προμετωπιαίου. (Diamond, 1985. Diamond & Doar, 1989) .

Ο αυτοέλεγχος των παρορμητικών αντιδράσεων και ο προγραμματισμός της κίνησης (μετωπιαίες λειτουργίες) αναπτύσσονται από το πρώτο ως το τρίτο έτος, ενώ μεταξύ τριών και πέντε ετών έχουμε σημαντική βελτίωση της επίδοσης σε γνωστικές ασκήσεις που απαιτούν ταυτόχρονα συγκράτηση πληροφοριών και καταστολή των παρορμητικών αντιδρά-

σεων, ώστε να διατηρηθεί η στοχοκατευθυνόμενη συμπεριφορά (Diamond, 2002). Ο Louria χορηγώντας δοκιμασίες «παραγγελμάτων» σε παιδιά (Luria, 1966), ανακάλυψε ότι η λειτουργία του αυτοελέγχου της κινητικής πρωτοβουλίας στον πλαγιοπίσθιο προμετωπιαίο δεν ωριμάζει πριν από τα 4,5 έτη, ενώ ο Καραπέτσας, καθηγητής νευροψυχολογίας και νευρογλωσσολογίας, με χορήγηση της ίδιας δοκιμασίας παρατήρησε ότι αυτή η λειτουργία μπορεί να ωριμάσει νωρίτερα, ακόμη και πριν από τα 4 έτη (Καραπέτσας, 1999). Μεταξύ πέντε και επτά ετών επίσης ο Piaget παρατήρησε ότι μπορούν να συγκρατηθούν κανόνες περισσότεροι του ενός και να κατασταλούν οι παρορμητικές απαντήσεις (Flavel, 1963).

Επιπλέον, μετά τα επτά έτη παρατηρείται ανάπτυξη και άλλων λειτουργιών στις οποίες μεσολαβεί ο πλάγιος προμετωπιαίος. Εκτός από τη συγκράτηση και επεξεργασία περισσότερων πληροφοριών αναπτύσσονται και ικανότητες όπως η ταχύτητα επεξεργασίας και η εφαρμογή στρατηγικών (Diamond, 2002). Ο Piaget (1958) παρατήρησε σχετικά, ότι στα 7 έτη τα παιδιά μπορούν ταυτόχρονα να συλλογίζονται περισσότερα από ένα στοιχεία και ταυτόχρονα να σκέπτονται και τις δυο πλευρές κάποιου θέματος. Μπορούν να συνδυάζουν, να διαχωρίζουν και να κατευθύνουν πληροφορίες, να σκέπτονται δημιουργικά και να δίνουν εναλλακτικές λύσεις.

Η αντίστροφη ονομάτιση αριθμών είναι μια άσκηση εργαζόμενης μνήμης που απαιτεί τη συγκράτηση και επεξεργασία των πληροφοριών διεγείροντας περισσότερο τον κοιλιοπλάγιο προμετωπιαίο από την ευθεία ονομάτιση που διεγείρει τον πλαγιοπίσθιο προμετωπιαίο. Από τα 7 ως τα 13 έτη, στην ευθεία ονομάτιση παρατηρήθηκε μικρότερη βελτίωση από ότι στην αντίστροφη ονομάτιση όπου σημειώθηκε μεγαλύτερη (Dempster, 1981).

Μετά τα 7 έτη παρατηρείται συνεχής βελτίωση της επίδοσης σε ασκήσεις του πλάγιου προμετωπιαίου, όπως η συγκράτηση ενός βασικού στόχου και η επεξεργασία υποστόχων (Petrides 2000. Jahanshahi et al 2000).

Στα 11 έτη ο Meiran (1996), παρατήρησε ότι το 80% μιας ομάδας παιδιών ανταποκρίνονταν σε ασκήσεις με αλλαγές γνωστικών στόχων που απαιτούσαν ενεργοποίηση του αυτοελέγχου, μιας εξελιγμένης ικανότητας παράγωγο της εργαζόμενης μνήμης και της προσοχής.

Σε τεστ που αξιολογούν τη λειτουργία των μετωπιαίων λοβών, («CVSI», «WCST», «Listening Span Task»), βρέθηκε ότι υπάρχει παράλληλη βελτίωση της επίδοσης με την πάροδο της ηλικίας. Στο «CVSI» (κωδικοποίηση σχημάτων με παλαμάκια, χειρονομίες) στα 11 έτη τα παιδιά δίνουν πολλές σωστές απαντήσεις (Pascual – Leone, 1970), ενώ στο WCST

(δοκιμασία ταιριάσματος σχημάτων, εξέταση αφαιρετικής ικανότητας) μεταξύ 10 και 11 ετών η επίδοση τους φτάνει στο επίπεδο επίδοσης των ενηλίκων (Welsh et al, 1991). Στο «Listening Span Task», (ο συμμετέχων ακούει προτάσεις και συγκρατεί την τελευταία λέξη από κάθε μια), έχει παρατηρηθεί βελτίωση της επίδοσης μεταξύ 6 και 15 ετών (Siegel, 1994).

7. Μετωπιαίοι λοβοί και Μαθηματικά

Φαίνεται ότι το λειτουργικό σύστημα της μαθηματικής σκέψης είναι κοινό για όλους τους ανθρώπους, αφού όλοι ενεργοποιούν τα ίδια νευρικά συστήματα όταν εκτελούν μαθηματικούς υπολογισμούς (OECD, 2001). Οι πρώτες νευροαπεικονιστικές έρευνες με χρήση PET (τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων) που εξέτασαν το νευρωνικό υπόστρωμα των μαθηματικών ικανοτήτων, έδειξαν αύξηση του μεταβολισμού των βρεγματικών και μετωπιαίων περιοχών κατά την επεξεργασία σύνθετων υπολογισμών (Roland & Friberg 1985). Πιο πρόσφατες έρευνες (Dehaene et al., 1999. Dehaene et al., 2003) έχουν ανακαλύψει, πως ξεχωριστές περιοχές του εγκεφάλου μεσολαβούν για να εκτελεστούν διάφορες μαθηματικές πράξεις, ενώ η επεξεργασία των αριθμητικών σχέσεων υποστηρίζεται κυρίως από τον αριστερό μετωπιαίο λοβό.

Σύμφωνα με τον Diego Alonso άλλωστε (OECD, 2001), οι περιοχές που ενεργοποιούνται κατά την εκτέλεση σύνθετων μαθηματικών υπολογισμών, αναμένεται να βρίσκονται στον προμετωπιαίο και στον πρόσθιο προσαγωγίο φλοιό και εμπλέκονται στη διευθέτηση συμπεριφορών αυτορρύθμισης (προγραμματισμός, λήψη απόφασης, διόρθωση λάθους). Ο προμετωπιαίος άλλωστε συντονίζει τα διαφορετικά νευρωνικά δίκτυα που μεσολαβούν κατά την επίλυση μαθηματικών πράξεων.

Ο Stanislas Dehaene μετά από έρευνες συμπέρανε πως όταν ένα παιδί επεξεργάζεται έναν αριθμό εκτελεί τρεις λειτουργίες διεγείροντας διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου (OECD, 2002). Εκτελεί οπτική επεξεργασία (όταν βλέπει έναν αριθμό, όπως ένα οπτικό σύμβολο, π.χ 3) διεγείροντας το οπτικό υποσύστημα, εκτελεί γλωσσική επεξεργασία, (ακούει ή διαβάζει τον αριθμό σαν λέξη π.χ τρία) διεγείροντας το γλωσσικό υποσύστημα που βρίσκεται κατανεμημένο σε περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου (περιοχή κοντά στην σχισμή του Sylvian) και αντιλαμβάνεται τον αριθμό ως ποσότητα, διεγείροντας το υποσύστημα επεξεργα-

σίας της ποσότητας που βρίσκεται στους βρεγματικούς λοβούς ($3 > 1$). Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο φαίνεται πως ανάλογα με το είδος των αριθμητικών διαδικασιών που αναλαμβάνονται, οι πληροφορίες μεταφέρονται ανάμεσα σε αυτά τα υποσυστήματα.

Η εμφάνιση δυσκολιών στα μαθηματικά συνδέεται με την υπόθεση ότι υπάρχει αδυναμία στη σύνδεση της αντιπροσώπευσης της έννοιας της ποσότητας με γλωσσικά και οπτικά σύμβολα. Η διαδικασία αυτόματης εναλλαγής της διέγερσης από το ένα στο άλλο σύστημα, φαίνεται να αποτελεί πηγή δυσκολίας για πολλά παιδιά (OECD, 2002).

Υποστηρίζεται ότι υπάρχει υψηλή συνάφεια ανάμεσα στις μαθησιακές διαταραχές και στη δυσαριθμησία. Άλλωστε μια σειρά από αριθμητικές ασκήσεις εξαρτώνται από τη γλώσσα και η δυσλεξία είναι μια διαταραχή γλωσσικών ικανοτήτων που συνοδεύεται από αδυναμία στη φωνολογική επεξεργασία (Paulesu et al, 1996) και στην βραχυπρόθεσμη μνήμη (Nation & Adams 1999). Επιπλέον, το 15 με 26% των παιδιών με μαθησιακές δυσκολίες εμφανίζουν δυσαριθμησία μαζί με ΔΕΠΥ (μετωπιαίο σύνδρομο), ωστόσο δεν είναι ξεκάθαρο αν πρόκειται για μια διπλή διαταραχή ή αν η διαταραχή της προσοχής είναι που δημιουργεί πρόβλημα σε αυτά τα παιδιά (OECD, 2003).

Ο Gearly (1993) επισημαίνει πως τα παιδιά με δυσαριθμησία εμφανίζουν δυο βασικές διαταραχές, «χρήση ακατάλληλων μαθηματικών στρατηγικών και υψηλή συχνότητα λαθών επεξεργασίας», όπως και «δυσκολία στην αναπαράσταση και ανάκτηση μαθηματικών προτύπων, από τη μακροπρόθεσμη μνήμη». Υποστηρίζει πως οι αιτίες δυσλειτουργίας της μακροπρόθεσμης μνήμης είναι η διαταραχή δυο πλευρών της εργαζόμενης μνήμης, της ταχύτητας επεξεργασίας και του ρυθμού αλλοίωσης των πληροφοριών που συγκρατούνται. Άλλωστε η εργαζόμενη μνήμη αριθμών των παιδιών με δυσαριθμησία είναι κατά ένα νούμερο μικρότερη από τα φυσιολογικά, ενώ μετρούν πιο αργά όταν κάνουν υπολογισμούς.

Αν και φαίνεται πως υπάρχει άμεση σχέση βραχυπρόθεσμης μνήμης και μαθηματικής ικανότητας, ωστόσο δεν υπάρχουν αρκετά στοιχεία που να αποδεικνύουν πως κάποια διαταραχή της βραχυπρόθεσμης μνήμης είναι αιτία της δυσαριθμησίας. Ωστόσο οι περιοχές του προκεντρικού και του κατώτερου προμετωπιαίου φλοιού που αντιπροσωπεύουν τη βραχυπρόθεσμη μνήμη ανατομικά, διεγείρονται όταν εκτελούνται υπολογισμοί και σύμφωνα με τον Deheane παθολογία αυτού του συστήματος οδηγεί σε αναπτυξιακή δυσαριθμησία στα παιδιά (Deheane et al., 2004).

Όταν υπολογίζουμε $7 - 4$ ή 3×7 θεωρείται πως ενεργοποιούνται συστηματικά ένα βρεγματικό-προμετωπιαίο νευρωνικό δίκτυο και περιοχές

του πρόσθιου προσαγωγίου φλοιού (Simon et al., 2002). Στις περισσότερες νευροαπεικονιστικές έρευνες το οριζόντιο τμήμα της βρεγματικής αύλακας αμφίπλευρα εμπλέκεται στην επεξεργασία αριθμών (Dehaene et al., 2003) όπως και η προκεντρική αύλακα και η κατώτερη γωνιώδης έλικα του μετωπιαίου που ενεργοποιούνται ταυτόχρονα (Stanescu et al., 2000). Η περιοχή της βρεγματικής αύλακας είναι σημαντική για τις απλές ασκήσεις αριθμητικής και την αναπαράσταση της ποιότητας, ενώ οι προμετωπιαίες περιοχές έχουν έναν πιο υποστηρικτικό ρόλο στον έλεγχο της διαχείρισης της εργαζόμενης μνήμης.

Σε πρόσφατη έρευνα της Pinel και συν., (2004), βρέθηκε πως κατά τη σύγκριση μεταξύ αριθμών ενεργοποιείται η αριστερή προκεντρική έλικα, ενώ κατά τη σύγκριση του μεγέθους μεταξύ αριθμών ενεργοποιούνται στους μετωπιαίους, η δεξιά προκεντρική έλικα η αριστερή γωνιώδης έλικα και η δεξιά ανώτερη μετωπιαία έλικα.

Ακόμη, άτομα που έχουν αδυναμία στις πράξεις πολλαπλασιασμού έχουν συνδυαστική αφασία (Dehaene & Cohen 1997. Cohen & Dehaene, 2000) και εκτός των άλλων περιοχών, παρουσιάζουν διαταραχή σε περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου που συνορεύουν με τη σχισμή του Sylvian, την κατώτερη γωνιώδη έλικα του μετωπιαίου και τα βασικά γάγγλια στο αριστερό ημισφαίριο.

Οι Nieder & Miller (2002) ανακάλυψαν σε μαϊμούδες την ύπαρξη ειδικών νευρώνων για την κωδικοποίηση των αριθμών στον προμετωπιαίο. Αυτοί εμφάνιζαν διαφοροποιημένο δυναμικό κατά την επεξεργασία μαθηματικών σχέσεων εμφανίζοντας λανθάνοντα χρόνο 80 ms, μικρότερο από τα 120 ms που παρατηρείται γενικά στους προμετωπιαίους νευρώνες. Αυτό το εύρημα συνδέεται με την υπόθεση πως η μαθηματική επεξεργασία αρχικά παριστάνεται στην κατώτερη βρεγματική αύλακα και αργότερα μεταβιβάζεται στα προμετωπιαία δίκτυα (Dehaene & Changeux, 1993).

Πέρα από τις περιπτώσεις εγκεφαλικής δυσλειτουργίας, σημαντικές για του σκοπούς της νευροψυχολογίας είναι και οι περιπτώσεις ατόμων με εξαιρετικές ικανότητες. Σε έρευνα με χρήση fMRI (Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία) (Pesenti et al., 2001) ανάμεσα σε έναν μαθηματικά ευφυή και σε φυσιολογικά υποκείμενα, παρατηρήθηκε ότι ο μαθηματικά ευφυής μπορούσε αυτόματα να μεταστραφεί από στρατηγικές που απαιτούν ενεργοποίηση της βραχυπρόθεσμης μνήμης, σε στρατηγικές κωδικοποίησης και αναζήτησης λύσεων. Αυτή όμως η ικανότητα υποστηρίζεται από τον προμετωπιαίο και από μεσιακές κροταφικές περιοχές.

Γενικά, οι μαθηματικά ευφυείς βασίζονται σε ένα μοντέλο γνωστικής επεξεργασίας που αντιπροσωπεύεται από το πρόσθιο μέρος του προσαγωγίου φλοιού (Bush et al., 2000). Αυτό συνδέεται με την ικανότητα να προσαρμόζουν της συμπεριφορά τους σε σύνθετους υπολογισμούς, όπως και να διορθώνουν τα λάθη κατά τους υπολογισμούς τους.

8. Γραφή και μετωπιαίοι λοβοί

Η γραφή απαιτεί το συντονισμό γνωστικών, γλωσσικών λειτουργιών όπως και των διαδικασιών αντίληψης της κίνησης. Σύμφωνα με τα γνωστικά πρότυπα της γλώσσας, η διαδικασία γραφής μπορεί να διαιρεθεί σε κεντρικά, βοηθητικά και περιφερειακά συστατικά (Rapcsak & Beeson, 2000, 2002.).

Τα κεντρικά συστατικά της γραφής είναι γλωσσικής φύσης υποστηρίζοντας την ανάκτηση των κατάλληλων λέξεων και την παροχή πληροφοριών ορθογραφίας. Η ορθογραφική γνώση ενεργοποιείται σε συνεργασία με ερεθίσματα σημασιολογίας και φωνολογίας. Βοηθητικά συστατικά μετατρέπουν τις ορθογραφικές αντιπροσωπεύσεις σε γραφήματα με μια σειρά διαδικασιών να καθοδηγεί τον έλεγχο των κινήσεων του χεριού. (Roeltgen, 1993. Rapcsak & Beeson, 2000, 2002).

Όμως η νευροανατομία της γραφής είναι σχετικά άγνωστη σε σύγκριση με άλλες γλωσσικές λειτουργίες. Σε δύο ιστορικές περιπτώσεις έγινε προσπάθεια να προσδιοριστεί το νευρικό υπόστρωμα της γραφής. Το 1891, ο Dejerine πρότεινε ότι οι ορθογραφικές αντιπροσωπεύσεις των λέξεων αποθηκεύονταν στην αριστερή γωνιώδη έλικα υπό μορφή οπτικών αναπαραστάσεων. Όσον αφορά τα περιφερειακά συστατικά της γραφής, ο Exner (1881) πρότεινε ένα φλοιώδες κέντρο ελέγχου των ειδικών κινήσεων της γραφής στο πόδι της δεύτερης μετωπιαίας έλικας που βρίσκεται ακριβώς επάνω από την περιοχή Broca. Ο λειτουργικός ρόλος της περιοχής αυτής φαίνεται να ενέχεται και στη γραφή και στην ανάγνωση (Anderson et al., 1990). Πρόσφατα και νευροαπεικονιστικές έρευνες αποκάλυψαν ότι η περιοχή Exner ενεργοποιείται κατά τη διάρκεια της γραφής (Katanoda et al., 2001. Menon & Desmond., 2003). Αυτή δεν φαίνεται να περιλαμβάνεται στον έλεγχο της κίνησης αλλά σε μια γνωστική πτυχή της γραφής και της ανάγνωσης. Ο ρόλος της μπορεί να αφορά την συνεργασία του κινητικού συστήματος κατά τη διάρκεια επε-

Ξεργασίας μεταξύ γραφημάτων και φωνημάτων (Anderson et al., 1990).

Επιπλέον, τόσο κατά την ανάγνωση όσο και κατά τη γραφή, γίνονται κινήσεις των ματιών. Τα μετωπιαία οπτικά πεδία, που βρίσκονται στην περιοχή (BA) 6 στους ανθρώπους (Paus, 1996), είναι μια από τις περιοχές που μεσολαβούν στην παραγωγή των κινήσεων των οφθαλμών και κατευθύνουν την προσοχή κατά τη γραφή (Paus, 1996. Corbetta, 1998).

Το υποσύστημα της ορθογραφίας είναι βασικό συστατικό της γραφής και επεξεργάζεται πληροφορίες σχετικά με τους συνδυασμούς γραφής των γραμμάτων, συνδυασμούς φωνημάτων και γραφημάτων που διαμορφώνουν τις λέξεις. Σε διάφορες έρευνες κατά την ανάγνωση με αντιπαραβολή ορθογραφικών με μη ορθογραφικά ερεθίσματα προκλήθηκε ενεργοποίηση των αριστερών μετωπιαίων λοβών και ιδιαίτερα στην κατώτερη μετωπιαία έλικα (Price et al., 1994. Price, Wise, & Frackowiak, 1996. Herbster et al., 1997), και στην πρόσθια προσαγωγή έλικα (Howard et al., 1992. Herbster et al., 1997).

Σύμφωνα με ευρήματα από νευροαπεικονιστικές έρευνες (Smith & Jonides, 1998. Smith et al., 1998. Miceli et al 2006.), κατά την επεξεργασία της ορθογραφίας μεσολαβεί ένα σύστημα εργαζόμενης μνήμης το οποίο αποτελείται από ένα μετωπιαίο - βρεγματικό δίκτυο. Οι μετωπιαίες περιοχές αυτού του συστήματος εμπλέκονται κυρίως στην αποθήκευση των λεξιλογικών πληροφοριών (κατώτερη μετωπιαία έλικα) και στην εκτέλεση των ανώτερων διανοητικών λειτουργιών (μεσαία μετωπιαία έλικα), ενώ το βρεγματικό τμήμα του μεσολαβεί στην επεξεργασία πληροφοριών τάξης, διαδοχής των γραμμάτων (κατώτερος βρεγματικός λοβός).

Ο Hillis και συν, (2002) πρόσφατα πρότειναν ότι η περιοχή Broca διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην πρόσβαση των ορθογραφικών αντιπροσωπεύσεων. Άλλωστε με χρήση της τεχνικής MRI (μαγνητική τομογραφία), βρέθηκε σημαντικός συσχετισμός μεταξύ χαμηλής αιματικής ροής του αριστερού κατώτερου μετωπιαίου φλοιού (BA 44) και εξασθετισμένης απόδοσης στη γραπτή ονομάτιση και το συλλαβισμό ανώμαλων λέξεων. Η αποκατάσταση της ορθογραφικής ικανότητας σημειώθηκε μετά και από αποκατάσταση της αιματικής ροής στην περιοχή Broca. Επιπλέον, και σε άλλα πειράματα με χρήση της τεχνικής MRI (μαγνητική τομογραφία), έχει βρεθεί ότι υποκείμενα που εμφανίζουν δυσγραφία στην απόδοση των ρημάτων, έχουν μειωμένη αιματική ροή στην αριστερή κατώτερη μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca) και στην προκεντρική έλικα (Caramazza & Hillis, 1991. Hillis et al, 2003).

Τα αποτελέσματα της νευροψυχολογικής μελέτης των Vlachos & Karapetsas (2003) προτείνουν ότι παιδιά με δυσγραφία ενδεχομένως υποφέ-

ρουν από γνωστικές διαταραχές που επηρεάζουν την οπτική μνήμη πολύ περισσότερο από τις οπτικοκινητικές δεξιότητες και ενισχύουν την υπόθεση που προτείνει ότι τα παιδιά με μαθησιακές διαταραχές είναι πιθανό να πάσχουν από ελλείψεις στην εργαζόμενη μνήμη (Swanson, 1993).

Πληροφορίες για το νευρικό υποστρώματα των βοηθητικών διαδικασιών γραφής προσφέρουν μελέτες σε άτομα με αδυναμία ελέγχου των κινήσεων της γραφής. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον έχουν οι περιπτώσεις της απραξιακής αγραφίας όπου η αδυναμία στο σχηματισμό των γραμμάτων οφείλεται στην έντονη αισθησιοκινητική εξασθένηση (Roeltgen, 1993. Rapcsak, 1997. Rapcsak & Beeson, 2000). Το πρόβλημα στην απραξιακή αγραφία εμφανίζεται να είναι μια εξασθένηση των προγραμματίων κίνησης της γραφής που περιέχουν πληροφορίες για τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά των κινήσεων των χεριών. Σύμφωνα και με την πρόταση του Exner (1881) χαρακτηριστικά γνωρίσματα της απραξιακής αγραφίας έχουν επιβεβαιωθεί μετά από διαταραχή της συμπληρωματικής κινητικής περιοχής (SMA) (Watson, Fleet, Rothi, & Heilman, 1986).

Συνολικά, τα στοιχεία από περιπτώσεις εγκεφαλικών διαταραχών προτείνουν ότι ο προγραμματισμός των κινήσεων της γραφής προξενείται από ένα διανεμημένο νευρωνικό δίκτυο που περιλαμβάνει τις ανώτερες βρεγματικές περιοχές καθώς επίσης τον πλαγιοπίσθιο και ενδιάμεσο προκινητικό φλοιό (Rapcsak & Beeson, 2002).

9. Μετωπιαίοι λοβοί και ανάγνωση

Το επιστημονικό ενδιαφέρον για την ερμηνεία της ικανότητας της ανάγνωσης ξεκίνησε το 19ο αιώνα και συμπίπτει χρονικά με την εφαρμογή των προγραμμάτων υποχρεωτικής βασικής εκπαίδευσης στις Ευρωπαϊκές χώρες. Το 1861 ο Γάλλος ανατόμος Paul Broca, μετά από παρατήρηση της συμπεριφοράς ασθενών που είχαν χάσει την ικανότητα της ομιλίας ανακάλυψε το κινητικό κέντρο του λόγου στο αριστερό ημισφαίριο και συγκεκριμένα στο πόδι της τρίτης μετωπιαίας έλικας (Broca, 1861). Το 1877 ο Γερμανός φυσιολόγος Kussmaul υπέθεσε ότι υπάρχουν διαφορετικές περιοχές στον εγκέφαλο για την αντίληψη αντικειμένων, συμβόλων και λέξεων, ενώ το 1885 ο C. Wernicke στηριζόμενος σε ευρήματα από τους Charcot, Pitres και Dejerine πρότεινε ένα μοντέλο με το οποίο εξήγησε τη λειτουργία των κέντρων ομιλίας, ανάγνωσης, και γρα-

Καραπέτσας Α., Λαδόπουλος Ε.

φής (Wernicke, 1885). Στις δύο προηγούμενες δεκαετίες, μια από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις ήταν ο προσδιορισμός με τη χρήση νευροαπεικονιστικών τεχνικών, του ρόλου της φωνολογικής συνείδησης στην εκμάθηση της ανάγνωσης.

Είναι γνωστό σήμερα, πως για να μάθει να διαβάζει επιτυχώς, ένα παιδί πρέπει να καταλάβει που και πώς οι τυπωμένες λέξεις αντιπροσωπεύουν τα φωνήματα, τις συλλαβές, τα μορφήματα και τις λέξεις. Η κατανόηση της φύσης της σχέσης μεταξύ των λέξεων και των ήχων, των λέξεων και της σημασίας είναι κρίσιμη στην εκμάθηση της ανάγνωσης.

Το γλωσσικό σύστημα του εγκεφάλου είναι ένα σύνθετο γνωστικό σύστημα που μπορεί να διαιρεθεί σε διάφορα υποσυστήματα, όπως της φωνολογίας, της ορθογραφίας, της γραμματικής, της σημασιολογίας, και της σύνταξης (Binder & Price, 2001).

Σχετικά με τη νευροανατομία των υποσυστημάτων, η μετατροπή των λέξεων σε κώδικες φωνολογίας και άρθρωσης διαδραματίζεται από (OECD, 2003):

- α. οπίσθιες γειτονικές στην αύλακα του Sylvius περιοχές (γωνιώδης έλικα, υπερχειλία έλικα και οπίσθια ανώτερη κροταφική έλικα/ Περιοχή Wernicke)
- β. την κατώτερη μετωπιαία έλικα/περιοχή Broca και ανώτερες μετωπιαίες κινητικές περιοχές (κύριος κινητικός φλοιός και συμπληρωματικός κινητικός φλοιός). Η κατώτερη μετωπιαία έλικα έχει συνδέσεις με την νησίδα, τη βρεγματική καλύπτρα της νησίδας την ανώτερη κροταφική έλικα τον κατώτερο κροταφικό λοβό και την παρεγκεφαλίδα.

10. Μετωπιαίοι λοβοί και Φωνολογία

Το υποσύστημα της φωνολογίας δίνει πληροφορίες σχετικές με την άρθρωση, και την αντίληψη των γλωσσικών ήχων. Σε έρευνες που έχουν εξετάσει τις περιοχές του εγκεφάλου που μεσολαβούν κατά την εκτέλεση φωνολογικών ασκήσεων, όπως η ανάγνωση ανωμάτων λέξεων και ψευδολέξεων, (Paulesu et al., 1993. Demonet et al., 1994. Zatorre et al., 1996. Rumsey et al., 1997. Horwitz et al., 1998) καταγράφηκε, με χρήση νευροαπεικονιστικών τεχνικών (fMRI: λειτουργική μαγνητική τομογραφία), ενεργοποίηση κοντά στην κατώτερη αριστερή μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca). Φαίνεται ότι υπάρχουν δύο ευδιάκριτες περιοχές του κατώ-

τερου μετωπιαίου φλοιού που μεσολαβούν στην επεξεργασία φωνημάτων: η αριστερή μετωπιαία καλύπτρα (γύρω από την πρόσθια νησίδα και την BA 45) και μια πιο πλαγιοπίσθια περιοχή κοντά στα όρια της κατώτερης μετωπιαίας έλικας και της προκινητικής περιοχής (BA 44/6).

Σε νευροαπεικονιστικές έρευνες όπου τα υποκείμενα υποβλήθηκαν σε ανάγνωση λέξεων, παρατηρήθηκε αύξηση της ενεργοποίησης στην αριστερή κινητική περιοχή των χεριών (Seyal et al., 1999. Meister et al., 2003). Τα αποτελέσματα αυτών των μελετών υποστηρίζουν την υπόθεση ότι υπάρχει μια λειτουργική σύνδεση μεταξύ των γλωσσικών περιοχών και της κινητικής περιοχής των χεριών. Ένα παράδειγμα της στενής αλληλεπίδρασης των κινητικών περιοχών του φλοιού για το χέρι και τη γλώσσα είναι η γραφή.

Κατά τη μετατροπή των ορθογραφικών πληροφοριών σε κωδικοποίηση φωνολογίας έχει παρατηρηθεί διέγερση στις μετωπιαίες περιοχές (Price et al., 2003). Γενικά κατά τη φωνολογική επεξεργασία έχει βρεθεί διέγερση του πλευρικού, κογχιακού πλαγιοπίσθιου και κατώτερου προμετωπιαίου φλοιού (Pugh et al., 1996. Zeffiro et al., 2000). Η φωνολογική επεξεργασία περιλαμβάνει ένα σύστημα από φλοιώδεις και υποφλοιώδεις περιοχές του μετωπιαίου, κροταφικού και βρεγματικού φλοιού (Roper et al., 1996). Άλλωστε, οι ασκήσεις που απαιτούν επεξεργασία φωνημάτων και λέξεων ενεργοποιούν στον προκινητικό φλοιό την περιοχή Broca 6/44, την υπερχειλία έλικα και την ανώτερη κροταφική έλικα (BA 40/22) (Paulesu et al., 1993. Demonet et al., 1994).

Η ονομάτιση αντικειμένων εμπλέκει τις ίδιες περιοχές με την ανάγνωση (Bookheimer et al., 1995. Zeffiro et al., 2000). Σε ασκήσεις γρήγορης ονομάτισης που εξετάζουν τη γλωσσική επάρκεια βρέθηκε ενεργοποίηση του αριστερού μετωπιαίου λοβού (Benton 1968. Cohen, et al., 1999.). Έχει παρατηρηθεί εξάλλου ότι υποκείμενα με προμετωπιαία δυσλειτουργία στο αριστερό ημισφαίριο έχουν μεγαλύτερες αδυναμίες στη γλωσσική επάρκεια από τα υποκείμενα με κροταφικές βλάβες (Crowa, 1992. Cohen et al., 1999).

Όμως υπάρχουν και διαφυλικές διαφορές στη φωνολογική επεξεργασία. Σε έρευνα του Shaywitz και συν., (1995), αφού εφαρμόστηκε η τεχνική fMRI (λειτουργική μαγνητική τομογραφία) σε άνδρες και γυναίκες κατά την χορήγηση τριών διαφορετικών γλωσσικών ασκήσεων (αναγνώριση γραμμάτων, φωνολογικές ρίμες και κατηγοριοποίηση σημασιών), βρέθηκε πως σε κάθε μια από αυτές τα αγόρια διέγειραν την κατώτερη μετωπιαία έλικα του αριστερού ημισφαιρίου, ενώ τα κορίτσια διέγειραν την ομόλογη περιοχή και των δυο ημισφαιρίων.

11. Μετωπιαίοι λοβοί και Σημασιολογία

Ο μετωπιαίος λοβός του νεοφλοιού συμμετέχει στην επεξεργασία της σημασίας των λέξεων, και των εικόνων, ενώ λειτουργεί συνδέοντας αυτά που διαβάζουμε με ό,τι ήδη γνωρίζουμε (Wren, S. 2005).

Αρκετές νευροαπεικονιστικές έρευνες έχουν συμπεράνει πως κατά τη διάρκεια σημασιολογικής επεξεργασίας εμφανίζεται να ενεργοποιείται η αριστερή κατώτερη μετωπιαία έλικα (Petersen et al., 1988. Frith et al., 1991. Karur et al., 1994), ενώ ο Demb και συν., (1995) σε στόχους σημασιολογίας κατά τη διάρκεια σαρώσεων των μετωπιαίων λοβών με fMRI (λειτουργική μαγνητική τομογραφία) βρήκαν ισχυρότερη ενεργοποίηση στην ανώτερη μετωπιαία έλικα και στην αριστερή κατώτερη γωνιώδη έλικα.

Οι Hynd και συν., (1991) επίσης βρήκαν σημαντική συσχέτιση ανάμεσα στην ικανότητα κατανόησης και στην μορφολογία των μετωπιαίων περιοχών. Στην έρευνα τους τα δυσλεκτικά υποκείμενα με μικρότερες πρόσθιες περιοχές παρουσίασαν σημαντικά χειρότερη απόδοση από την ομάδα ελέγχου.

Ο αριστερός προμετωπιαίος φλοιός επίσης, συμμετέχει στην επεξεργασία της σημασίας των ρημάτων. Κατά συνέπεια οι λέξεις που αναφέρονται σε ενέργειες μπορούν να αντιπροσωπευθούν από νευρικά συστήματα που υποβοηθούν επίσης τον προγραμματισμό της κίνησης, ενώ οι λέξεις που αναφέρονται σε συγκεκριμένα αντικείμενα μπορούν να εξαρτηθούν από φλοιώδεις περιοχές που έχουν συνδέσεις σε αισθητήριες περιοχές (Damasio & Tranel, 1993. Pulvermuller, 1999). Επιπλέον έχει βρεθεί, ότι ο προσαγωγίος φλοιός και ο δεξιός προμετωπιαίος έχουν σημαντικό ρόλο στην επεξεργασία των λέξεων με συναισθηματική φόρτιση (OECD, 2003).

Εξάλου κατά την επεξεργασία ήχων και εννοιών στην ανάγνωση είναι αξιοπρόσεκτο ότι η εγκεφαλική δραστηριότητα είναι παρόμοια με αυτή της ακοής. Και στις δύο περιπτώσεις, ο κροταφικός λοβός και ο μετωπιαίος λοβός είναι ενεργοί, αντίστοιχα (Wren, S. 2005)

12. Μετωπιαίοι λοβοί και Σύνταξη

Οι κανόνες σύμφωνα με τους οποίους οι λέξεις συνδυάζονται για να φτιάξουν καλοσχηματισμένες προτάσεις και αναλύονται για να αποκαλύψουν τις ελλοχεύουσες σχέσεις μεταξύ των λέξεων συνθέτουν το υποσύ-

σημα σύνταξης.

Το 1977 ο Benson περιγράφοντας την αλεξία του μετωπιαίου λοβού (Benson, 1977), μίλησε για δυσκολίες στην κατανόηση του κειμένου εξαιτίας προβλημάτων στη συντακτική αντίληψη (παθολογία του μετωπιαίου λοβού).

Έχει επίσης υποστηριχτεί ότι η επεξεργασία της σύνταξης μπορεί να ανασταλεί από διαταραχές των προμετωπιαίων γλωσσικών τομέων (Dogil, Haider, Schaner-Wolles, & Husmann, 1995. Grodzinsky, 2000). Όλες οι σχετικές μελέτες αναφέρουν μια ισχυρή ενεργοποίηση της περιοχής Broca (BA 44/45) σε όλες τις συνθήκες συντακτικής επεξεργασίας (Dapretto & Bookheimer, 1999. Caplan, Alpert, Waters, & Olivieri, 2000. Indefrey et al., 2001).

13. Μετωπιαίοι λοβοί και Γραμματική

Η γραμματική συνίσταται στους γλωσσικούς κανόνες στους οποίους οι γλωσσικοί ήχοι υπακούουν. Και για αυτήν τη σημαντική γλωσσική λειτουργία υπάρχουν στοιχεία πως μεσολαβούν περιοχές των μετωπιαίων λοβών. Πολυάριθμες νευροψυχολογικές (Goodglass, 1968. Luria, 1969. Caramazza et al., 1976. Saffran et al 1980. Grodzinsky, 1986) και νευροαπεικονιστικές μελέτες (Miceli, 1984. Dehaene, 1995. Caplan, et al 1998. Dapretto, et al 1999. Friederici, et al 2000.) έχουν υποστηρίξει ότι η περιοχή του αριστερού κατώτερου μετωπιαίου φλοιού μεσολαβεί στη γραμματική επεξεργασία. Υπάρχει ακόμη η υπόθεση πως η γωνιώδης και η υπερχειλία έλικα, συμμετέχουν στη γραμματική επεξεργασία καθώς μεταφέρουν λεξιλογικές πληροφορίες από τον κροταφικό λοβό στις μετωπιαίες περιοχές (Geschwind, 1965).

Σε περιπτώσεις διαταραχής του αριστερού μετωπιαίου φλοιού εμφανίζεται ένα γλωσσικό σύνδρομο γνωστό ως αγραμματική αφασία, όπου γίνεται λανθασμένη χρήση των γραμματικών στοιχείων στην ομιλία (Sapirho & Caramazza, 2003). Οι ασθενείς με αυτήν την διαταραχή τείνουν να έχουν ιδιαίτερη δυσκολία στην παραγωγή μορφημάτων η οποία εξαρτάται από τις αριστερές μετωπιαίες δομές (Damasio et al, 1993. Pulvermóller, 1999. Tranel, 2001).

Προβλήματα στην παραγωγή μορφημάτων των ουσιαστικών μπορούν να οφείλονται σε διαταραχή του συστήματος επεξεργασίας των ουσια-

στικών, (το οποίο μπορεί να εντοπιστεί στον αριστερό μετωπιαίο φλοιό), ή σε αποκοπή των συνδέσεων μεταξύ των λεξιλογικών αντιπροσωπεύσεων των ουσιαστικών (στις αριστερές κροταφικές περιοχές) και ενός γενικού γραμματικού συστήματος επεξεργασίας (στον αριστερό μετωπιαίο λοβό), ή ακόμα ενδεχομένως και στα δύο (Sapirho & Caramazza, 2003), ενώ προβλήματα παραγωγής μορφημάτων των ρημάτων μπορούν να προέλθουν από βλάβη σε μέρος της μέσης αριστερής μετωπιαίας έλικας, ανώτερα της περιοχής Broca, που αντιστοιχεί στην περιοχή BA 9 (Daniele, 1994. Carra, et al., 1998. Bak, et al., 2001).

14. Μετωπιαίοι λοβοί και Δυσλεξία

Η ιδέα της δυσλεξίας ως σύνδρομο αποσύνδεσης μεταξύ των πρόσθιων (μετωπιαίων) και οπίσθιων γλωσσικών συστημάτων, εμφανίστηκε αρχικά στην εργασία του Wernicke το 1874 και ακολουθήθηκε αργότερα και από άλλους (Birch & Belmont 1964. Geschwind 1965. Horwitz et al 1998). Όμως τι είναι αυτό που αποσυνδέει τις δυο περιοχές; Οι Paulses και συν., σε έρευνα τους με χρήση PET (τομογραφία εκπομπής προζιτρονίων) σε ομάδες δυσλεκτικών και μη-δυσλεκτικών (1999b) παρατήρησαν το ρόλο της νησίδας σε αυτήν την διαδικασία και πρότειναν ότι αυτή διαμορφώνει μια γέφυρα μεταξύ των δυο γλωσσικών τομέων. Στις μη-δυσλεκτικές ομάδες, παρατηρήθηκε ταυτόχρονη ενεργοποίηση κάθε γλωσσικού τομέα και της νησίδας, ενώ στην ομάδα δυσλεκτικών υποκειμένων, δεν υπήρξε καμία ενεργοποίηση της νησίδας και οι δύο γλωσσικοί τομείς ενεργοποιήθηκαν μεμονωμένα.

Νεώτερες νευροαπεικονιστικές μελέτες εμπλέκουν την περιοχή της κατώτερης μετωπιαίας έλικας στην εμφάνιση δυσλεξίας. Αυτό το πρόσθιο σύστημα εμφανίζεται να ενεργοποιείται περισσότερο στους δυσλεκτικούς παρά στους φυσιολογικούς αναγνώστες (Horwitz et al., 1998. Shaywitz et al., 1998. Brunswick et al., 1999.), ίσως αντισταθμιστικά λόγω της αποτυχία τους να αναπτύξουν επαρκώς τα οπίσθια κροταφοβρεγματικά συστήματα.

Ωστόσο για τους δυσλεξικούς τα συμπεράσματα για την ενεργοποίηση της κατώτερης μετωπιαίας έλικας είναι αντικρουόμενα. Κάποιες έρευνες αναφέρουν αύξηση της ενεργοποίησης (Shaywitz et al., 1998. Richards et al 1999. Georgiewa et al., 2002.) ενώ άλλες αναφέρουν μείω-

ση της ενεργοποίησης στην κατώτερη μετωπιαία έλικα κατά την ανάγνωση λέξεων (Corina et al., 2001. Shaywitz et al., 2002. Aylward et al., 2003). Ο Temple και συν., το 2003, σε έρευνα τους με χρήση fMRI (Λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία), παρατήρησαν ότι σε άσκηση φωνολογίας (rhyming task) 24 δυσλεξικά παιδιά, ενεργοποίησαν την κατώτερη μετωπιαία έλικα όπως και τα φυσιολογικά, όμως σε κατώτερη περιοχή του μετωπιαίου λοβού.

Όσον αφορά τα ανατομικά ευρήματα, βρέθηκε ότι διαταραχές στο νευρικό δίκτυο μετωπιαίων, παρεγκεφαλίδας, επηρεάζουν την αναγνωστική ικανότητα (Eckert et al., 2003). Οι Kaufmann & Galaburda (1989) επίσης, ανακάλυψαν σε μετωπιαίες γλωσσικές περιοχές ενήλικων δυσλεξικών, εκτοπίες, δυσπλασίες και πολυμικροκυρίες, ενώ ο Hynd και συν., (1990) βρήκαν την ύπαρξη συμμετρίας ανάμεσα στις πρόσθιες γλωσσικές περιοχές σε δυσλεξικούς και αντίστροφης ασυμμετρίας στα κροταφικά πεδία δυσλεξικών, ενώ ο Larsen και συν., την ίδια χρονιά βρήκαν επιπλέον την ύπαρξη συμμετρίας στα κροταφικά πεδία δυσλεξικών.

Με χρήση της μεθόδου Beam (Χαρτογράφηση Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος) που πραγματοποίησαν ο Καραπέτσας και συν. (Καραπέτσας, Μήτσιου, Βούλγαρη, & Βαίτσης, 2001), τόσο σε φυσιολογικά παιδιά όσο και σε παιδιά με μαθησιακές διαταραχές παρατηρήθηκε ότι, τα παιδιά με μαθησιακές διαταραχές κατά τη διάρκεια ανάγνωσης και αντιγραφής εμφανίζουν ρυθμούς α και β στις μετωπιαίες-κροταφικές περιοχές, με μικρή επικράτηση των βραδών ρυθμών στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ τα φυσιολογικά παιδιά κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης και της αντιγραφής εμφανίζουν αμφίπλευρα περιορισμένους ρυθμούς θ στις κροταφικές-βρεγματικές περιοχές.

Μια κατηγορία δυσλεξικών είναι οι δυσφωνετικοί (OECD, 2003). Αυτοί εμφανίζουν περισσότερο μετωπιαία παθολογία στην αριστερή γλωσσική περιοχή. Έχουν αδυναμίες στην άρθρωση, στο σχεδιασμό της ομιλίας, της κίνησης, και εμφανίζουν ελαφριάς μορφής δυσλειτουργία στην ανάκτηση λεξιλογίου και στην άμεση ακουστική – γλωσσική μνήμη. Συμπληρωματικά αυτά τα παιδιά μπορεί να έχουν δυσκολίες με την προσοχή. Άλλωστε άλλες έρευνες έχουν βρεί ότι τα παιδιά με δυσλεξία συχνά εμφανίζουν και αδυναμίες στην προσοχή (Fawcett et al., 1996, Habib, 2000), ενώ έχει βρεθεί πως το έπαρμα της κυματομορφής P300 κατά την καταγραφή της εγκεφαλικής λειτουργίας με τη χρήση της τεχνικής των Γνωστικών Προκλητών Δυναμικών, εκλύεται με μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης και εμφανίζει μικρότερο εύρος, στον προμετωπιαίο όπου αντιπροσωπεύονται οι λειτουργίες τις προσοχής (Taylor & Keelman, 1990).

15. Συμπεράσματα

Φαίνεται ότι εάν προκύψει κάποτε μια « μεγάλη θεωρία της μάθησης », θα συμβάλλουν σε αυτό η ψυχολογία, οι νευροεπιστήμες και η εκπαίδευση, και όχι μόνο οι νευροεπιστήμες (OECD, 2002). Αυτή τη στιγμή όμως βρισκόμαστε στο αρχικό στάδιο προς τη δημιουργία μιας τέτοιας θεωρίας.

Οι νευροεπιστήμονες όμως μπορούν να συνεργαστούν με τους εκπαιδευτικούς σε αυτήν την κατεύθυνση. Κατανοώντας τις γνωστικές διαδικασίες της μάθησης οι εκπαιδευτικοί μπορούν να αναπτύξουν καλύτερα εκπαιδευτικά προγράμματα και παράλληλα να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των εκπαιδευτικών τους παρεμβάσεων σχετικά και με την αποκατάσταση των παιδιών με μαθησιακές διαταραχές (Καραπέτσας, 1988. Φλουρή, 2005).

Εξάλλου η δημιουργική σκέψη απαιτεί τη σύνθετη προσπάθεια πολλών δομών που βρίσκονται σε πολλά διαφορετικά σημεία και των δυο ημισφαιρίων. Φαίνεται, ότι το αναλυτικό πρόγραμμα θα μπορούσε να ενθαρρύνει τη νευρωνική σύνδεση μεταξύ των διαφόρων περιοχών του εγκεφάλου. Για να συμβεί αυτό θα μπορούσε να ενθαρρύνει την κατανόηση και τις αναλογικές, μεταφορικές ενοποιήσεις με άλλα γνωστικά αντικείμενα, μέσα από επαναλαμβανόμενα και συνεχή ερεθίσματα (διαθεματικότητα) (Κασσωτάκης & Φλουρή, 2001). Σύμφωνα με αυτήν την άποψη, η σχολική γνώση πρέπει να έχει βάθος και το αναλυτικό πρόγραμμα να είναι σπειροειδές, κυκλικό και να αποβλέπει στην ενδυνάμωση των συνδέσεων μεταξύ των λειτουργικών συστημάτων του εγκεφάλου. Ο Fred Genessee αναπτύσσοντας αυτό το επιχείρημα (Genessee, 2000) προτείνει ότι « η ροή της νευρικής δραστηριότητας δεν είναι μονοκατευθυνόμενη, από απλή σε σύνθετη αλλά συχνά εξελίσσεται και από σύνθετη σε απλή ». Αυτό υπονοεί πως:

«... η αποτελεσματική διδασκαλία πρέπει να εστιάζει και στα μέρη και στο σύνολο. Οι εκπαιδευτικές προσεγγίσεις που υποστηρίζουν τα μέρη της διδασκαλίας και όχι το σύνολο ή τα σύνολα και όχι τα μέρη είναι ασύνητες, επειδή ο εγκέφαλος φυσιολογικά συνδέει την τοπική νευρική δραστηριότητα με κυκλώματα που σχετίζονται με διαφορετικές λειτουργικές δομές». Γι' αυτό, π.χ στις αρχικές οδηγίες για την εκμάθηση της ανάγνωσης, η διδασκαλία της φωνητικής ανεξάρτητα από την διδασκαλία των εννοιών των λέξεων είναι πιθανό να είναι λιγότερο αποτελεσματική από τη διδασκαλία και των δύο παράλληλα. Ο συσχετισμός της ορθογραφίας με τη σημασία της χρησιμότητας του γραπτού λόγου από τους μαθητές, παρέχει σημαντικό κίνητρο για την εκμάθηση της ανάγνωσης και της

γραφής. Ακόμη, η διδασκαλία (και η μάθηση) μπορεί να γίνει από τη βάση προς την κορυφή (από απλή σε σύνθετη) και αντίστροφα (από σύνθετη σε απλή). Τα επιχειρήματα για τη διδασκαλία των απλών δεξιοτήτων μεμονωμένα, υποθέτουν ότι οι μαθητές μπορούν αρχικά να χειρίζονται απλές πληροφορίες και ότι η εισαγωγή πιο σύνθετων εννοιών πρέπει να γίνεται σταδιακά. Η έρευνα του εγκεφάλου όμως δείχνει ότι τα κέντρα υψηλής απαρτίωσης που επεξεργάζονται τις σύνθετες, αφηρημένες πληροφορίες μπορούν να ενεργοποιούνται και να αλληλεπιδράσουν με κατώτερα κέντρα, και αντίστροφα (Genessee, 2000).

Είναι γνωστό, ότι η αμυγδαλή και ο ιππόκαμπος (μεταιχμιακό σύστημα) συνδέονται με το μετωπιαίο φλοιό (συλλογιστικό σύστημα) και γι' αυτό «όταν εξασθενίζουν αυτές οι συνδέσεις, από φόβο ή άγχος, πλήττεται και η γνωστική απόδοση» (OECD, 2002). Γι' αυτό μαζί με τη μάθηση είναι ωφέλιμο να επισυνάπτεται και ένα θετικό συναίσθημα για αυτήν, ενώ ένα κατάλληλο και ευχάριστο περιβάλλον μάθησης μπορεί να ενεργοποιήσει τη διάθεση των μαθητών για μάθηση (Φλουρής, 2005).

Η κατανόηση των λειτουργιών των μετωπιαίων λοβών, φωτίζει την ανάπτυξη της ανθρώπινης γνώσης. Μεγάλη είναι πρόοδος που έχει πραγματοποιηθεί σχετικά. Πιστεύουμε ότι την επόμενη δεκαετία θα γίνουμε μάρτυρες μιας ακόμη πιο εξελιγμένης γνωστικής θεωρίας στην έρευνα των προμετωπιαίων λοβών. Οι κλασσικές ιδέες του εντοπισμού των λειτουργιών έχουν αντικατασταθεί από ευρήματα πως οι προμετωπιαίοι νευρώνες είναι πιο πλαστικοί από ότι παραδοσιακά πιστεύαμε.

Με τις νευροαπεικονιστικές έρευνες που εκθέσαμε θελήσαμε να παρουσιάσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα της λειτουργίας των μετωπιαίων λοβών, εξετάζοντας τους και ως μονάδα αλλά και ως μέρη ενός ευρύτερου λειτουργικού συστήματος. Άλλωστε, καθώς οι μέθοδοι νευροαπεικόνισης βελτιώνονται και γίνονται περισσότερο φιλικές στις μικρότερες ηλικίες, θα πρέπει να αναμένουμε τα επόμενα δέκα χρόνια να εμφανιστούν νέες πληροφορίες σχετικά με την ανάπτυξη των μετωπιαίων λοβών, από την βρεφική ηλικία ως και την ενήλικη ζωή. Όμως γιατί γίνεται τόσο λόγος για τους μετωπιαίους λοβούς; Γιατί πολλοί ερευνητές εντυπωσιάζονται από αυτήν την εγκεφαλική δομή; Προφανώς αυτή η περιοχή αποτελεί το κλειδί για την κατανόηση της γνωστικής ανάπτυξης και μάθησης, τόσο της φυσιολογικής όσο και της αποκλίνουσας (διαταραγμένης, χαρismaticής) και αναμένεται πως αυτή η εξέλιξη θα έχει μεγάλες συνέπειες τόσο για τον άνθρωπο όσο και για την κοινωνία.

Βιβλιογραφία

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ

- Alexander, M.P., & Stuss, D.T. (2000). Disorders of frontal lobe functioning. *Seminars in Neurology*, 20(4), 427-437.
- Aylward, E.H., T.L. Richards, T.L., Berninger, V.W., Nagy, W.E., Field, K.M., Grimme, A.C., Richards, A.L., Thomson, J.B & Cramer, S.C. (2003). Instructional treatment associated with changes in brain activation in children with dyslexia. *Neurology* 61, 212-219.
- Bak T., O'Donovan D., Xuereb J., Boniface S., Hodges J. (2001). Selective impairment of verb processing associated with pathological changes in Brodmann areas 44 and 45 in the motor neurone disease-dementia-aphasia syndrome. *Brain*, 124, 103-120.
- Benson, D.F (1977) The Third Alexia. *Archives of Neurology*, 34, 327-331.
- Benton, A. L. (1968). Differential behavioral effects in frontal lobe disease. *Neuropsychologia*, 6, 53-60.
- Binder, J., & Price C.J. (2001). In Cabeza, R & Kingstone, A. (Eds). *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*, The MIT Press
- Birch, H. J., & Belmont, L. (1964). Auditory-visual integration in normal and retarded readers. *American Journal of Orthopsychiatry*, 34, 852-861.
- Bookheimer, S.V., Zetfiro, T. A., Blaxton, T., Gaillard, W., & Theodore, W. (1995). Regional cerebral blood flow during object naming and word reading. *Human Brain Mapping*, 3, 93 - 106.
- Broadman, K. (1909). *Vergleichende Lokalisationlehre der Grosshirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund des Zellenbaues*. Leipzig: J. A. Barth.
- Broca, P., (1861). Perte de la parole. Ramolissement chronique et destruction partielle du lobe antérieur gauche du cerveau. *Bulletin de la Société d'Anthropologie*, 2, 219.
- Bruer, T.J. (1999). In search of Brain-Based Education. *Kappan Professional Journal*, 80 (9), 648.
- Brunswick, N., McCrory, E., Price, C. J., Frith, C. D., & Frith, U. (1999). Explicit and implicit processing of words and pseudowords by adult developmental dyslexics: A search for Wernicke's Wortschatz? *Brain*, 122(10), 1901-1917.
- Bush, G., Luu, P., & Posner, M. I. (2000). Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex. *Trends of Cognitive Science*, 4, 215-222.
- Caplan, D., Alpert, N., Waters, G. (1998). Effects of syntactic structure and propositional number on patterns of regional cerebral blood flow. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 541-552.

- Cappa, S., Binetti, G., Pezzini, A., Padovani, A., Rozzini, L., Trabucchi M. (1998). Object and action naming in Alzheimer's disease and fronto-temporal dementia. *Neurology*, 50, 351–355.
- Caramazza, A., Zurif, E. (1976). Dissociation of algorithmic and heuristic processes in language comprehension: evidence from aphasia. *Brain and Language*, 3, 572–82.
- Caramazza, A., & Hillis, A.E. (1991). *Nature* 349, 788–790.
- Chugani, H.T. & Phelps, M.E. (1986). Maturational changes in cerebral function in infants determined by 18FDG positron emission tomography. *Science*, 231, 840–843.
- Cohen, M.J., Morgan, A.M., Vaughn, M., Riccio, C.A & Hall, J. (1999). Verbal Fluency in Children: Developmental Issues and Differential Validity in Distinguishing Children with Attention-Deficit Hyperactivity Disorder and Two Subtypes of Dyslexia/fluency in children. *Archives of Clinical Neuropsychology*, (14), 433–443.
- Cohen, L., & Dehaene, S. (2000). Calculating without reading: Unsuspected residual abilities in pure alexia. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 563–583
- Corbetta, M. (1998). Frontoparietal cortical networks for directing attention and the eye to visual locations: identical, independent, or overlapping neural systems?, *Proceedings of National Academy of Science USA*, 95, 831–838.
- Corina, D.P., Richards, T.L., Serafini, S., A.L. Richards, K. Steury, R.D. Abbott, R.D. Echelard, K.R. Maravilla & Berninger, V.W. (2001). fMRI auditory language differences between dyslexic and able reading children. *NeuroReport*, 12, 1195–1201.
- Crowe, S. F. (1992). Dissociation of two frontal lobe syndromes by a test of verbal fluency. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 14, 327–339
- Damasio, A., & Tranel, D. (1993). Nouns and verbs are retrieved with differentially distributed neural systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 90, 4957–60.
- Daniele, A., Giustolisi, L., Silveri, M., Colosimo, C., Gainotti, G. (1994) Evidence for a possible neuroanatomical basis for lexical processing of nouns and verbs. *Neuropsychologia*, 32, 1325–1341.
- Dehaene, S. (1995). Electrophysiological evidence for category-specific word processing in the normal human brain. *NeuroReport*, 6, 2153–2157.
- Dehaene, S., & Changeux, J. (1993). Development of elementary numerical abilities: A neuronal model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 5, 390–407.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (1997). Cerebral pathways for calculation: Double dis-

- sociation between rote verbal and quantitative knowledge of arithmetic. *Cortex* 3,219–250.
- Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R., & Tsivkin, S. (1999). Sources of mathematical thinking: behavioral and brain-imaging evidence. *Science*, 284, 970-974.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., Cohen, L. (2003). *Three parietal circuits for number processing*. *Cognitive Neuropsychology*, 20, 487-506, 11.
- Dehaene, S., Molko, N., Cohen, L., & Wilson, A. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 14, 218-224.
- Dejerine, J. (1891). Sur un cas de cécité verbale avec agraphie, suivi d' autopsie. *Compte Rendu de la Societé de Biologie*, 3, 197 – 201.
- DeLalle, I., Evers, P., Kostovic, I., & Uylings, H.B.M. (1997). Laminar distribution of neuropeptide Y-immunoreactive neurons in human prefrontal cortex during development. *Journal of Comparative Neurology*, 379, 515-522.
- Demb, J.B., Desmond, J.E., Wagner, A.D., Vaidya, C.J., Glover, G.H., Gabrieli, J.D.E. (1995). Semantic encoding and retrieval in the left inferior prefrontal cortex: a functional MRI study of task difficulty and process specificity. *The Journal of Neuroscience*, 15, 5870–5878.
- Demonet, J.-F., Price, C. J., Wise, R., & Frankowiak, R. S. J. (1994). A PET study of cognitive strategies in normal subjects during language tasks: Influence of phonetic ambiguity and sequence processing on phoneme monitoring. *Brain*, 117, 671-682.
- Dempster, F.N. (1981). Memory span: sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89, 63-100.
- Diamond, A. (1985). Development of the ability to use recall to guide action, as indicated by infants' performance on A-not-B. *Child Development*, 56, 868-883.
- Diamond, A. & Doar, B. (1989). The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed response task. *Developmental Psychobiology*, 22 (3), 271-294.
- Diamond, A., Prevor, M., Callender, G., & Druin, D.P. (1997). Prefrontal cortex cognitive deficits in children treated early and continuously for PKU. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 62(4), 1-207.
- Diamond, A. (2001). A model system for studying the role of dopamine in prefrontal cortex during early development in humans. In: C. Nelsen and M. Luciana (Eds.). *Handbook of Developmental Cognitive Neuroscience* (pp. 433-472), Cambridge, MA: MIT Press.
- Diamond, A. (2002). Normal Development of Prefrontal Cortex from Birth to Young Adulthood: Cognitive Functions, Anatomy, and Biochemistry. In

- Stuss, D., & Knight, R.T (Eds). *Principles of frontal lobe function*, (pp. 466-501), Oxford University Press.
- Dogil, G., Haider, H., Schaner-Wolles, C., Husmann, R. (1995). Radical autonomy of syntax: evidence from transcortical sensory aphasia. *Aphasiology* 9, 577-602
- Eckert, M., Leonard, C., Richards, T., Aylward, E., Thomson, J., & Berninger, V. (2003). *Anatomical correlates of dyslexia: Frontal and cerebellar findings*. *Brain*, 126 (no. 2), 482-494.
- Exner, S. (1881). *Untersuchungen über die Lokalisation der Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen*, Wien: Wilhein Braumuller.
- Fawcett, A. J., Nicolson, R. I., & Dean, P. (1996). Impaired performance of children with dyslexia on a range of cerebellar tasks. *Annals of Dyslexia*, 46, 259-283.
- Flavell, J.H. (1963). *The Developmental Psychology of Jean Piaget*, Princeton, N.J: Van Nostrand.
- Friederici A, Opitz B, von Cramon DY. (2000). Segregating semantic and syntactic aspects of processing in the human brain: an fMRI investigation of different word types. *Cerebral Cortex*, 10, 698-705.
- Frith. C. D., Friston. K. J., Liddle., P.F., & Frackowiak, R. S. J. (1991). A PET study of word finding. *Neuropsychologia*, 29, 1137- 1148.
- Fuster, J.M. (1993). Frontal lobes. *Current Opinion in Neurobiology*, 3, 160-165.
- Geake, J.G. (2003). Adapting Middle Level educational practises to current research of brain functioning. *Journal of the New England League of Middle Schools*, 15(2), 6-12.
- Geary, D. C. (1993). Mathematical disabilities: Cognitive, neuropsychological and genetic components. *Psychological Bulletin*, 114(2), 345-362.
- Genessee, F. (2000) *Brain Research: Implications for Second Language Learning*, Washington, DC: ERIC Clearinghouse on Languages and Linguistics.
- Georgiewa, P., Rzanny, R., Gaser, C., Gerhard, U. J., Vieweg, U., Freesmeyer, D., Mentzel, H. J., Kaiser, W. A., & Blanz, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: a study combining functional imaging and event related potentials. *Neuroscience Letters* 318 (1), 5-8.
- Geschwind N. (1965). Disconnexion syndromes in animals and man. *Brain*, 88, 237-94, 585-644.
- Giedd, J., Blumenthal, J., Jeffries, N., Castellanos, F., Liu, H., Zijdenbos, A., Paus, T., Evans, A., Rapoport, J. (1999). Brain development during childhood and adolescence: a longitudinal MRI study. *Nature Neuroscience*, 2, 861-863.

- Gogtay, N., Giedd, J.N., Lusk, L., Hayashi, K.M., Greenstein, D., Vaituzis, A.C., Nugent, T.F., Herman, D.H., Clasen, L.S., Toga, A.W., Rapoport, J.L., Thompson, P.M. (2004) Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. *Proceedings of National Academy of Science USA*, 101, 8174–8179.
- Goodglass H. Studies on the grammar of aphasics (1968). In Rosenberg, S., Joplin, K. (eds.). *Developments in applied psycholinguistics research* (pp. 177-208), New York: MacMillan.
- Grodzinsky, Y. (2000). The neurology of syntax: language use without Broca's area. *Behavioral and Brain Science*, 23, 1-21.
- Habib, M. (2000). The neural basis of developmental dyslexia. An overview and working hypothesis. *Brain*, 123, 2373-2399.
- Hall, J. (2005). *Neuroscience and Education. A review of the contribution of brain science to teaching and learning*, The Scottish Council of Research in Education.
- Harlow, J.M. (1848). Passage of an iron bar through the head. *Boston Medical and Surgical Journal*, 39, 389-393.
- Harlow, J.M. (1868). Recovery from the passage of an iron bar through the head. *Publication of the Massachusetts Medical Society*, 2, 327-347.
- Herbster, A. N., Mintum, M. A., Nebes, R. D., & Becker, J. T. (1997). Regional cerebral blood flow during word and nonword reading. *Human Brain Mapping*, 5, 84–92.
- Hillis, A. E., Kane, A., Tuffiash, E., Beauchamp, N. J., Barker, P. B., Jacobs, M. A. et al. (2002). Neural substrates of the cognitive processes underlying spelling: Evidence from MR diffusion and perfusion imaging. *Aphasiology*, 16, 425–438.
- Hillis, A., Wityk, R.J., Barker, P.B., & Caramazza, A. (2003). Neural regions essential for writing verbs. *Nature*, 6, 19-20.
- Hodges, J. R. (1991). Pure apraxic agraphia with recovery after drainage of a left frontal cyst. *Cortex*, 27, 469–473.
- Horwitz, B., Rumsey, J. M., & Donohue, B. C. (1998). Functional connectivity of the angular gyrus in normal reading and dyslexia. *Proceedings of The National Academy of Science USA*, 95, 8939-8944.
- Howard, D., Patterson, K., Wise, R., Brown, W. D., Friston, K., Weiller, C., & Frackowiak, R. (1992). The cortical localization of the lexicons: The cortical localization of lexicons. *Brain*, 1, 15
- Hudspeth, W.J., & Pribram, K.H. (1990). Stages of brain and cognitive maturation. *Journal of Educational Psychology*, 82, 881-884.
- Hynd, G.W., Semrud-Clikeman, M., Lorys, A.R., Novey, E.S., Eliopoulos, D.

- (1990). Brain morphology in developmental dyslexia and attention deficit disorder/hyperactivity. *Archives of Neurology*, 47, 919 - 926.
- Indefrey, P., Brown, C. M., Hellwig, F., Amunts, K., Herzog, H., Seitz, R. J., & Hagoort, P. (2001). 'A neural correlate of syntactic encoding during speech production'. *Proceedings of National Academy of Science USA*, 98,(10), 5933-5936.
- Jahanshahi, M., Dirnberger, G., Fuller, R., & Frith, C.D. (2000). The role of the dorsolateral prefrontal cortex in random number generation: a study with positron emission tomography. *NeuroImage*, 12, 713-725.
- Jernigan, T.L., & Tallal, P. (1990). Late childhood changes in brain morphology observable with MRI. *Developmental Medicine and Child Neurology*, 32, 379-385.
- Johnson, M. (1997). *Developmental cognitive neuroscience*, Oxford: Blackwell.
- Kapur, S., Rose, R., Liddle, P.F., Zipursky, R.B., Brown, G.M., Stuss, (1994). Role of left inferior prefrontal cortex in retrieval of semantics, *NeuroReport*, 5, 2193-2196.
- Katanoda, K., Yoshikawa, K., & Sugishita, M. (2001). A functional MRI study on the neural substrates for writing. *Human Brain Mapping*, 13, 34-42.
- Kaufer, D.I., & Lewis, D.A. (1999). Frontal lobe anatomy and cortical connectivity. In Miller, B.L., & Cummings, J.L. (Eds.). *The human frontal lobes: Functions and disorders* (pp. 27-44), New York: The Guilford Press.
- Kaufmann, W. E., & Galaburda, A. M. (1989). Cerebrocortical microdysgenesis in neurologically normal subjects: a histopathologic study. *Neurology*, 39, 238-244.
- Koenderink, M.J.Th., Ulyings, H.B.M., & Mrzljak, L. (1994). Postnatal maturation of the layer III pyramidal neurons in the human prefrontal cortex: a quantitative Golgi analysis. *Brain Research*, 653, 173-182.
- Koizumi, H. (2004). The concept of 'developing the brain': a new natural science for learning and education. *Brain & Development*, 26, 434-441.
- Kroger, J.K., Sabb, F.W., Fales, C.L., Bookheimer, S.Y., Cohen, M.S., & Holyoak, K.J. (2002). Recruitment of anterior dorsolateral prefrontal cortex in human reasoning: A parametric study of relational complexity. *Cerebral Cortex*, 12(5), 477-485.
- Kussmaul, A. (1877). *Die Störungen der Sprache*. Leipzig: Vogel
- Larsen, J.P., Høien T, Odegaard H. (1992). Magnetic resonance imaging of the corpus callosum in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 9, 123-34.
- Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment (3rd ed.)*, New York: Oxford University Press.

- Luria, A. (1969). Frontal lobe syndromes. In: Vinken, P., Bruyn, G., editors. *Handbook of clinical neurology*, vol. 2., pp 725-757, Amsterdam: North-Holland.
- Marlowe, W.B. (1992). The impact of right prefrontal lesion on the developing brain. *Brain and Cognition*, 20, 205-213.
- Marsel - Mesulam, M. (2002). The human frontal lobes: Transcending the default mode through contingent encoding. In Stuss, D., & Knight, R.T (Eds). *Principles of frontal lobe function*, (pp. 8-30), Oxford University Press.
- Meiran, N. (1996). Reconfiguration of processing mode prior to task performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 22, 1423-1442.
- Meister, I.G., Borojoerdi, B., Foltys, H., Sparing, R, Huber, W., & Töpper, R. (2003). Motor cortex hand area and speech: implications for the development of language. *Neuropsychologia*, 41, 401-406.
- Menon, V., & Desmond, J. E. (2003). Left superior parietal cortex involvement in writing: Integrating fMRI with lesion evidence. *Cognitive Brain Research*, 12, 337-340.
- Miceli, G., Silveri, M., Villa, G., Caramazza, A. (1984). On the basis for the agrammatic's difficulty in producing main verbs. *Cortex*, 20, 207-20.
- Miceli, G., Caltagirone, C., Capasso, R., Caramagno, A., Patria, F., Turriziani, P., Zampetti, P., & Caramazza, A. *The neuroanatomy of orthographic working memory*. Retrieved in 10/2/06 from 3www.wjh.harvard.edu/~caram/PDFs/Submitted_Miceli_et_al.pdf
- Miles, C., Morgan, M.J., Milne, A.B., & Morris, E.D.M. (1996). Developmental and individual differences in visual memory span. *Current Psychology*, 15, 53-67.
- Mrzljak, L., Uylings, H.B.M., van Eden, C.G., & Judas, M., (1990). Neuronal development in human prefrontal cortex in prenatal and postnatal states. In: H.B.M. Uylings, C.G. van Eden, J.P.C. de Bruin, M.A. Corner, and M.G.P. Feenstra (Eds.). *The Prefrontal Cortex: Its Structure, Function, and Pathology. Progress in Brain Research*, Vol. 85 (pp. 185-222), Amsterdam: Elsevier.
- Nieder, A., Freedman, D. J. & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science* 297, 1708-1711.
- NIMH (2001). *Teenage Brain: a work in progress*. Retrieved from <http://www.nimh.nih.gov>.
- NIMH (2004). *Imaging Study Shows Brain Maturing*. Retrieved from <http://www.nimh.nih.gov>.
- OECD. (2001). *A report of the Learning Sciences and Brain Research: Potential*

- Implications for Education Policies and Practices - Brain Mechanisms and Youth Learning. Proceedings of the OECD conference in Granada, Spain, 1-3 February 2001.*
- OECD. (2002). *Understanding the Brain: Toward a New Learning Science*, Paris: Office of Economic Cooperation and Development.
- OECD. (2003). *A report of the Literacy Network and the Numeracy Deliberations*, Proceedings of the OECD conference in Brockston, MA, USA, 29-31 January, 2003
- O'Boyle, M.W & Gill, H.S. (1998). On the Relevance of Research Findings in Cognitive Neuroscience to Educational Practice. *Educational Psychology Review*, Vol. 10, (4.)
- Pascual-Leone, J.A. (1970). A mathematical model for transition in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301-345.
- Paulesu, E., Frith, C. D., and Frackowiak, R. S. J. (1993). The neural correlates of the verbal component of working memory. *Nature* 362, 342-44.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling, M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R., & Frith, C. (1999b). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain* 119, 143–157.
- Paus, T. (1996). Location and function of the human frontal eye-field: a selective review. *Neuropsychologia*, 34, 475–483.
- Pesenti, M., Zago, L., Crivello, F., Mellet, E., Samson, D., Duroux, B., Seron, X., Mazoyer, B., & Tzourio-Mazoyer, N. (2001). Mental calculation in a prodigy is sustained by right prefrontal and medial temporal areas. *Natural Neuroscience*, 4, 103 - 107.
- Petersen, S.E., Fox, P.T., Posner, M.I., Mintun, M., and Raichle, M.E. (1988). Positron emission tomographic studies of the cortical anatomy of single-word processing. *Nature* 331, 585–589.
- Petrides, M. (2000). Mid-dorsolateral and mid-ventrolateral prefrontal cortex: two levels of executive control for the processing of mnemonic information. In Monsell, S., & Driver, J. (Eds.). *Control of Cognitive Processes: Attention and Performance XVIII*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Petrides, M., Alivisatos, B., & Evans, A. C. (1995). Functional activation of the human ventrolateral frontal cortex during mnemonic retrieval of verbal information. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92, 5803–5807.
- Piaget, J. (1958). Principal factors determining intellectual evolution from childhood to adult life. In Hartley, E.L. & Hartley, R.E. (Eds.). *Outside Readings in Psychology*, (pp. 43-55), New York: Crowell.
- Pinel, P., Piazza, M., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (2004). *Neuron* 41, 983–993.

- Poeppel, D. (1996). A critical review of PET studies of phonological processing. *Brain and Language*, 55, 317-351.
- Price, C. J., Wise, R. J. S., Watson, J. D. G., Patterson, K., Howard, D., & Frackowiak, R. S. J. (1994). Brain activity during reading: The effects of exposure duration and task. *Brain* 117, 1255 - 1269.
- Price, C. J., Wise, R.J.S., & Frackowiak, R. S. J. (1996). Demonstrating the implicit processing of visually presented words and pseudowords. *Cerebral Cortex* 6, 62-70.
- Price, C.J., Gorno-Tempini, M.L., Graham, S.K., Biggio, N., Mechelli, A., Patterson, & Noppeneya, U. (2003). Normal and Pathological reading: *Converging data from lesion and imaging studies. NeuroImage*, 20, 30-41.
- Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., Bronen, R. A., Shankweiler, D. P., Katz, L., Fletcher, J. M., & Gore, J. C. (1996). Cerebral organization of component processes in reading. *Brain*, 119, 1221-1238.
- Pugh, K. R., Mencl, W. E., Jenner, A. R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2000a). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 6(3), 207-213.
- Pulvermuller, F. (1999). *Words in the brain's language. Behavioural & Brain Sciences*, 22, 253-336.
- Rapcsak, S. Z. (1997). Disorders of writing. In L. J. G. Rothi & K. M. Heilman (Eds.). *Apraxia: The neuropsychology of action*, Hove, UK: Psychology Press.
- Rapcsak, S. Z., & Beeson, P. M. (2000). Agraphia. In L. J. G. Rothi, B. Crosson, & S. Nadeau (Eds.). *Aphasia and language: Theory and practice*, New York: Guilford Press.
- Rapcsak, S. Z., & Beeson, P. M. (2002). Neuroanatomical correlates of spelling and writing. In A. E. Hillis (Ed.). *Handbook on adult language disorders: Integrating cognitive neuropsychology, neurology, and rehabilitation* (pp. 71-99). Philadelphia: Psychology Press.
- Richards, T.L., Dager, S.R., Corina, D., Serafini, S., Heide, A.C., Steury, K., Strauss, W., Hayes, C.E., Abbott, R.D., Craft, S., Shaw, D., Posse, S., & Berninger, W. (1999) Dyslexic children have abnormal brain lactate response to reading-related language tasks. *American Society of Neuro-radiology*, 20, 1393-1398.
- Roeltgen, D. P. (1993). Localization of lesions in agraphia. In A. Kertesz (Ed.).

- Localization and neuroimaging in neuropsychology*, San Diego, CA: Academic Press.
- Roland, P. E., & Friberg, L. (1985). Localization of cortical areas activated by thinking. *Journal of Neurophysiology*, *53*, 1219-1243.
- Rumsey, J. M., Horwitz, B., Donohue, B. C., Nace, K., Maisog, J. M., & Anderson, P. (1997). Phonological and orthographic components of word recognition: A PET-rCBF study. *Brain* *120*, 739 - 759.
- Saffran E, Schwartz M, Marin O. (1980). The word order problem in agrammatism Production. *Brain and Language*, *10*, 263– 80.
- Saphiro, K., & Caramazza, A. (2003). Grammatical processing of nouns and verbs in left frontal cortex? *Neuropsychologia*, *41*, 1189–1198.
- Selemon, L.D., & Goldman-Rakic, P.S. (1985). Longitudinal topography and interdigitation of corticostriatal projections in the rhesus monkey. *Journal of Neuroscience*, *5*(3), 776-794.
- Seyal, M., Mull, B., Bhullar, N., Ahmad, T., Gage, B. (1999). Anticipation and execution of a simple reading task enhance corticospinal excitability. *Clinical Neurophysiology*, *110*, 424–429.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Constable, R.T., Skudlarski, P., Fulbright, R.K., Bronen, R.A., Fletcher, J.M., Shankweiler, D.P., Katz, L. (1995). Sex differences in the functional organization of the brain for language. *Nature* *373*, 607-609.
- Shaywitz, B.A., Shaywitz, S.E., Pugh, K.R., Mencl, W.E., Fulbright, R.K., Skudlarski, P.(2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, *52*, 101–110.
- Shaywitz, S.E., Shaywitz, B.A., Pugh, K. R., Fulbright, R.T., Constable, W.E., Mencl, D.P., Shankweiler, A.M., Liberman, P., Skudlarski, J.M., Fletcher, L., Katz, K.E., Marchione, C., Lacadie, C., Gatenby & J.C. Gore. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of National Academy of Science U. S. A.*, *95* , 2636–2641.
- Siegel, L. (1994). Working memory and reading: a lifespan perspective. *International Journal of Behavioural Development*, *17*, 109-124.
- Simon, O., Mangin, J.F., Cohen, L., Le Bihan, D., Dehaene, S. (2002). Topographical layout of hand, eye, calculation, and languagerelated areas in the human parietal lobe. *Neuron*, *33*, 475-487.
- Smith, E.E. & Jonides, J. (1998a). Neuroimaging analyses of human working memory. *Proceedings of National Academy of Science, USA* *95*, 12061–12068.
- Smith, E.E., Jonides, J., Marshuetz, C. & Koeppe, R.A. Components of verbal working memory. (1998b). Evidence from neuroimaging. *Proceedings*

- of *National Academy of Science, USA* 95, 876–882.
- Sowell, E.R., Thompson, P.M., Holmes, C.J., Jernigaii, T.L., & Toga, A.W. (1999). In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *Nature Neuroscience*, 2, 859-861.
- Stanescu-Cosson, R., Pinel, P., van De Moortele, P.F., Le Bihan, D., Cohen, L., Dehaene, S. (2000). Understanding dissociations in dyscalculia: a brain imaging study of the impact of number size on the cerebral networks for exact and approximate calculation. *Brain*, 123, 2240-2255.
- Stuss, D.T., & Alexander, M.P. (2000). Executive functions and the frontal lobes: a conceptual view. *Psychological Research*, 63, 289-298.
- Swanson, H. (1993). Working memory in learning disability subgroups. *Journal of Experimental Child Psychology*, 56, 87-114.
- Taylor, M.J., Keenan, N.K. (1990). Event-related potentials to visual and language stimuli in normal and dyslexic children. *Psychophysiology*, 27, 318-27.
- Temple, E., Deutsch, G.K., Poldrack, R.A., Miller, S.L., Tallal, P., M. M. Merzenich & John D. E. Gabrieli. (2003). Neural deficits in children with dyslexia ameliorated by behavioral remediation: Evidence from functional MRI. *Proceedings of National Academy of Science. U.S.A.* 100, 2860-2865.
- Tranel, D., Adolphs, R., Damasio., H, Damasio., A. (2001). A neural basis for the retrieval of action words. *Cognitive Neuropsychology*, 17, 655–674.
- Vlachos, F., & Karapetsas, A. (2003). Visual memory deficit in children with dysgraphia. *Perceptual and Motor Skills*, 97, 1281-1288.
- Watson, R. T., Fleet, W. S., Rothi, L. J. G., & Heilman, K. M. (1986). Apraxia and the supplementary motor area. *Archives of Neurology*, 43, 787–792.
- Welsh, M.C., Pennington, B.F., & Groisser, D.B. (1991). A normative-developmental study of executive function: a window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology*, 7, 131-149.
- Wernicke, C. (1885). *Nervenheilkunde: Die neueren Arbeiten über Aphasia. Fortschritte der Medizin*, 3, 824 – 830.
- Wren, S. (2005). *The Brain and Reading*. <http://www.seidl.org>
- Zald, D.H., & Kim, S.W. (1996). Anatomy and function of the orbital frontal cortex: I. Anatomy, neurocircuitry, and obsessive-compulsive disorder. *Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neuroscience*, 8(2), 125-138.
- Zatorre, R. J., Meyer. E., Gjedde. A. & Evans. A. C. (1996). PET studies of phonetic processing of speech: Review, replication, and reanalysis. *Cerebral Cortex*, 6, 21 -30.
- Zeffiro, T., & Eden, G. (2000). *The neural basis of developmental dyslexia, Annals of dyslexia*, 50.

ΕΛΛΗΝΙΚΗ

- Καραπέτσας, Α. (1988). *Νευροψυχολογία του αναπτυσσόμενου ανθρώπου*, Αθήνα:Σμυρνιωτάκης.
- Καραπέτσας, Α. (1999). Διερεύνηση του ρόλου των προμετωπιαίων λοβών στην οργάνωση της αυτορρύθμισης και του αυτοελέγχου της κινητικής πρωτοβουλίας στα παιδιά. *Ψυχολογία*,6,1,13-19,1999.
- Καραπέτσας Α., Μήτσιου Γ., Βούλγαρη Α., & Βαίτσης, Κ. (2001). *Η συνεισφορά των ηλεκτροφυσιολογικών τεχνικών στη διάγνωση και μελέτη των μαθησιακών δυσκολιών*. 8ο Πανελλήνιο Συνέδριο Ψυχολογικής Έρευνας, 24 – 27 Μαΐου, Αλεξανδρούπολη.
- Λούρια, Ρ. Α., Μετάφραση: Αγγελόπουλος, Ν. (1998). *Η λειτουργία του εγκεφάλου*, Αθήνα: Καστανιώτης.
- Φλουρής, Γ. (2005). Εγκέφαλος, Μάθηση, Νοημοσύνη και Εκπαίδευση. *Επιστήμες Αγωγής*, 7-32.
- Φλουρής, Γ., & Κασσωτάκης, Μ. (2001). *Μάθηση και Διδασκαλία*, Αθήνα.