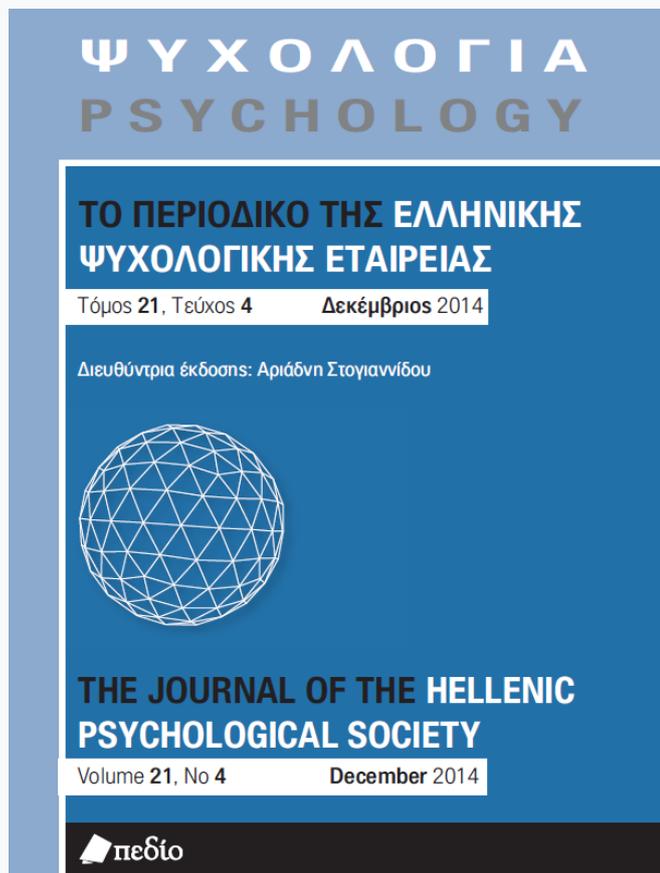


## Psychology: the Journal of the Hellenic Psychological Society

Vol 21, No 4 (2014)



### Dyslexia and brain asymmetry: A review of studies using anatomical and functional brain imaging

Αγγελική Κουφάκη, Μαριέττα Παπαδάτου - Παστου

doi: [10.12681/psy\\_hps.23508](https://doi.org/10.12681/psy_hps.23508)

Copyright © 2017, Αγγελική Κουφάκη, Μαριέττα Παπαδάτου - Παστου



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

#### To cite this article:

Κουφάκη Α., & Παπαδάτου - Παστου Μ. (2017). Dyslexia and brain asymmetry: A review of studies using anatomical and functional brain imaging. *Psychology: The Journal of the Hellenic Psychological Society*, 21(4), 379–394. [https://doi.org/10.12681/psy\\_hps.23508](https://doi.org/10.12681/psy_hps.23508)

## Δυσλεξία και εγκεφαλική ασυμμετρία: Ανασκόπηση μελετών ανατομικής και λειτουργικής απεικόνισης

ΑΓΓΕΛΙΚΗ ΚΟΥΦΑΚΗ<sup>1</sup>

ΜΑΡΙΕΤΤΑ ΠΑΠΑΔΑΤΟΥ-ΠΑΣΤΟΥ<sup>1</sup>

### ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αναπτυξιακή δυσλεξία αποτελεί μια ειδική μαθησιακή δυσκολία του γραπτού λόγου που εκφράζεται μέσα από δυσκολίες στην ανάγνωση, παρά την κατάλληλη εκπαίδευση, τις κοινωνικοπολιτισμικές ευκαιρίες και την επαρκή νοημοσύνη του ατόμου (ICD-10, WHO, 1993). Υπολογίζεται ότι επηρεάζει το 5-17% του μαθητικού πληθυσμού και πρόκειται για μία νευρολογικής φύσεως διαταραχή (Habib, 2000. Σίμος, Μουζάκη, & Παπανικολάου, 2004), η οποία ωστόσο χρήζει εκπαιδευτικής αντιμετώπισης. Τα τελευταία χρόνια έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος σχετικά με τη διερεύνηση του νευροβιολογικού υποστρώματος της δυσλεξίας, αλλά ακόμα και σήμερα παραμένει επίκαιρη και υπό διερεύνηση η υπόθεση που διατυπώθηκε από τον Orton το 1925, σύμφωνα με την οποία τα άτομα με δυσλεξία δεν έχουν αναπτύξει την τυπική εγκεφαλική ασυμμετρία για τη γλώσσα και εμφανίζουν συμμετρία ή ημισφαιρική επικράτηση στο δεξιό ημισφαίριο. Η παρούσα αφηγηματική ανασκόπηση παρουσιάζει μελέτες ανατομικής και λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου που διερευνούν την υπόθεση της ελλιπούς εγκεφαλικής ασυμμετρίας. Μεγάλο μέρος των ερευνών κάνει πράγματι λόγο για ανατομικές και λειτουργικές διαφοροποιήσεις στα γλωσσικά νευρωνικά δίκτυα του αριστερού ημισφαιρίου του εγκεφάλου στα άτομα με δυσλεξία σε σχέση με τους τυπικούς αναγνώστες. Συμπερασματικά, η μη τυπική ασυμμετρία φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό, αν και όχι τον μοναδικό, νευροβιολογικό παράγοντα για την εμφάνιση δυσλεξίας.

Λέξεις-κλειδιά: Δυσλεξία, Εγκεφαλική ασυμμετρία, Ημισφαιρική επικράτηση, Ειδική αναγνωστική διαταραχή, Πλευρίωση, Ημισφαιρική εξειδίκευση.

---

1. Διεύθυνση: Κέντρο Μελέτης Ψυχοφυσιολογίας και Εκπαίδευσης, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Δεινοκράτους 27, 10675, Αθήνα, E-mail: mpapadatou@primedu.uoa.gr, Τηλ.: 210 3641712, Fax: 210 3614301.

## 1. Εισαγωγή

Η αναπτυξιακή δυσλεξία αποτελεί μια ειδική μαθησιακή δυσκολία του γραπτού λόγου που εκφράζεται μέσα από δυσκολίες στην ανάγνωση, παρά την κατάλληλη εκπαίδευση, τις κοινωνικοπολιτισμικές ευκαιρίες και την επαρκή νοημοσύνη του ατόμου (ICD-10, WHO, 1993). Αποτελεί την πιο συχνά εμφανιζόμενη μαθησιακή διαταραχή, καθώς τέσσερις στους πέντε μαθητές με δυσκολίες μάθησης εμφανίζουν διαταραχές στην ανάγνωση και σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες εκτιμάται ότι επηρεάζει ένα ποσοστό της τάξης του 5% με 17,5% του μαθητικού πληθυσμού (Shaywitz, 1998). Αυτή η διακύμανση οφείλεται σε διάφορους παράγοντες, όπως τα προβλήματα στον ορισμό της δυσλεξίας (Pennington, 2009) καθώς και οι δομικές ιδιομορφίες της κάθε γλώσσας (Vlachos et al., 2013), όπως ο βαθμός διαφάνειας του ορθογραφικού συστήματος που καθορίζεται από τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των γραμμάτων και των ήχων της ομιλίας (Πρωτόπαπας, 2010). Στην Ελλάδα, εκτιμάται ότι το ποσοστό εμφάνισης της δυσλεξίας είναι 5,52%, ποσοστό που συνάδει με άλλες γλώσσες που έχουν αντίστοιχα διαφανές (ρηχό) ορθογραφικό σύστημα δηλαδή υπάρχει άμεση και συστηματική αντιστοιχία μεταξύ των γραμμάτων και των ήχων του προφορικού λόγου (Vlachos et al., 2013).

Στην προσπάθεια ερμηνείας της δυσλεξίας βάσει των γνωστικών της ελλειμμάτων, πολλοί μελετητές αναφέρουν ότι κύριο, ίσως και μοναδικό, γνωστικό έλλειμμα για την εμφάνισή της αποτελεί η ελλιπής φωνολογική επίγνωση (για ανασκ. βλ. Ramus, 2003. Snowling, 2000), όρος που αναφέρεται στη συνειδητή ικανότητα αντίληψης και χειρισμού των επιμέρους τμημάτων του προφορικού (π.χ., συλλαβές ή φωνήματα) και κατ' επέκταση του γραπτού λόγου (Πόρποδας, 2002. Stanovich & Siegel, 1994). Αντίθετα, άλλοι μελετητές κάνουν λόγο για ελλείμματα προσοχής, οπτικής και ακουστικής αντίληψης -μεγαλοκυτταρική θεωρία- ή/και κινητικά ελλείμματα -παρεγκεφαλιδική θεωρία- (Facoetti, Paganoni, Turatto, Marzola, & Mascetti, 2000. Gaab, Gabrieli, Deutsch, Tallal, & Temple, 2007. Nicolson, Fawcett, & Dean, 2001. Stein, 2001).

Ωστόσο, τα ελλείμματα φωνολογικής επεξεργασίας από μόνα τους δεν επαρκούν για να ερμηνεύσουν όλο το φάσμα της διαταραχής (Snowling, 2008) και οι θεωρητικές προσεγγίσεις που αποδίδουν την αιτιολογία της δυσλεξία σε ένα μειονωμένο έλλειμμα -φωνολογικό, αισθητηριακό, κινητικό-, έχουν θεωρηθεί ανεπαρκείς, καθώς δεν εξηγούν την ετερογένεια που παρατηρείται, τόσο σε επίπεδο αιτιολογίας, όσο και σε επίπεδο συμπεριφοράς ή και συννοσηρότητας (Bishop, 2006. Pennington, 2006. για ανασκ. βλ. Βλάχος, 2010). Το σύγχρονο πεδίο έρευνας κάνει λόγο για υποτύπους δυσλεξίας, καθώς τα παιδιά με δυσλεξία μπορούν να ταξινομηθούν σε διαφορετικές ομάδες, κάθε μία από τις οποίες παρουσιάζει διαφορετικά γνωστικά πρότυπα (Heim et al., 2008). Οι Heim et al. (2008), συγκρίνοντας 45 παιδιά με δυσλεξία και 48 παιδιά τυπικής ανάπτυξης, βρήκαν ότι τα παιδιά με δυσλεξία μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις ευδιάκριτες ομάδες βάσει των γνωστικών τους ελλειμμάτων. Στην πρώτη ομάδα ταξινομήθηκαν παιδιά που εμφανίζουν σημαντικά χαμηλότερες επιδόσεις στις δοκιμασίες φωνολογικής επίγνωσης συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, στην δεύτερη ομάδα ταξινομήθηκαν παιδιά με σημαντικά ελλείμματα σε δοκιμασίες προσοχής και στην τρίτη ομάδα ταξινομούνται παιδιά που εμφανίζουν συνδυαστικά ελλείμματα φωνολογικής, οπτικής και ακουστικής επεξεργασίας.

Πέρα από τη μελέτη των παραπάνω ελλειμμάτων που παρουσιάζουν τα άτομα με δυσλεξία, το ενδιαφέρον των ερευνητών είναι επίσης στραμμένο στη νευροβιολογική βάση της δυσλεξίας (Kral, Nielson, & Hynd, 1998) αφού για την σφαιρική κατανόηση της δυσλεξίας προτείνεται μία σύνθετη προσέγγιση σε γενετικό, νευροβιολογικό και γνωστικό επίπεδο (Frith, 1999). Όταν στο δεύτερο μισό του 19ου αιώνα ο Paul Broca και ο Carl Wernicke συσχέτισαν συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου (ΑΗ) του εγκεφάλου με την ομιλία και την κατανόηση του προφορικού λόγου (την τρίτη μετωπιαία έλικα και το οπίσθιο τμήμα της άνω κροταφικής έλικας, αντίστοιχα), τέθηκαν οι βάσεις για τη διατύπωση της θεωρίας περί ασυμμετρίας των εγκεφαλικών ημισφαιρίων.

Ο ανθρώπινος εγκέφαλος θεωρείται ασύμμε-

τρος ή πλευριωμένος όταν το ένα ημισφαίριο ή μια εγκεφαλική περιοχή διαφέρει δομικά από την άλλη ή επιτελεί διαφορετικές λειτουργίες (Bisazza, Rogers, & Vallortigara, 1998). Στην πλειονότητα του γενικού πληθυσμού το ΑΗ του εγκεφάλου είναι εξειδικευμένο για τις σειριακές λειτουργίες, όπως η γλωσσική επεξεργασία και παραγωγή, ενώ το δεξιό ημισφαίριο (ΔΗ) είναι επικρατές για τις ολιστικές λειτουργίες, όπως είναι οι οπτικοχωρικές (Hellige, 1993. McManus & Bryden, 1993). Αυτή η λειτουργική εξειδίκευση των ημισφαιρίων έχει υποστηριχθεί ότι αποτελεί προϋπόθεση για την πλήρη ανάπτυξη των γνωστικών ικανοτήτων του ατόμου (Geschwind & Galaburda, 1985a,b. Hiscock, 1998. Luria, 1973).

Η σύνδεση της δυσλεξίας με την ασυμμετρία των εγκεφαλικών ημισφαιρίων προτάθηκε αρχικά από τον Orton (1925. 1937), ο οποίος υπέθεσε ότι ο εγκέφαλος των παιδιών με δυσλεξία εμφανίζει συμμετρία μεταξύ των ημισφαιρίων εξαιτίας μιας αναπτυξιακής επιβράδυνσης η οποία εμποδίζει την ανάπτυξη ενός κυρίαρχου για τη γλώσσα ημισφαιρίου (Illingworth & Bishop, 2009). Παρότι η ερμηνεία που αποδόθηκε από τον Orton, ότι δηλαδή η οπτική πληροφορία αναπαρίσταται καθρεπτικά και στα δύο ημισφαίρια στα άτομα με δυσλεξία με συνέπεια να προκαλείται σύγχυση στην ανάγνωση και τη γραφή (Corballis, 1974) δεν επιβεβαιώθηκε ως επιστημονικά ορθή (Springer & Deutsch, 1989), ωστόσο, η αρχική διατύπωση της υπόθεσης περί μη τυπικής ασυμμετρίας των γλωσσικών λειτουργιών στη δυσλεξία αποτέλεσε μία από τις πιο ολοκληρωμένες υποθέσεις στον τομέα των αναγνωστικών δυσκολιών και άσκησε μεγάλη επιρροή στις μετέπειτα ερευνητικές προσπάθειες (Illingworth & Bishop, 2009. Vellutino, 1979).

Η προσπάθεια για τον προσδιορισμό της σχέσης της δυσλεξίας με την εγκεφαλική ασυμμετρία ξεκίνησε με την αξιοποίηση ενός έμμεσου συμπεριφορικού δείκτη για την πλευρίωση της γλώσσας, την επικράτηση χεριού (ο όρος είναι μετάφραση του αγγλικού όρου «handedness» και συναντάται και ως προτίμηση χεριού, κυριαρχία χεριού ή κυριοχειρία και περιλαμβάνει τόσο την προτίμηση στη χρήση του ενός χεριού έναντι του άλλου, όσο

και την σχετική επιδεξιότητα του ενός χεριού έναντι του άλλου). (Annet, 1985. Orton, 1925) [για περισσότερες πληροφορίες βλ. Eglinton & Annett (1994). Κουφάκη & Παπαδάτου-Παστού (2011)]. Σήμερα, με την ανάπτυξη μεθόδων απεικόνισης του εγκεφάλου, όπως η λειτουργική τομογραφία μαγνητικού συντονισμού (functional magnetic resonance imaging, fMRI), η τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (positron emission tomography, PET) κ.ά., μπορεί πλέον να μελετηθεί άμεσα το νευροβιολογικό υπόστρωμα της δυσλεξίας.

Τα ευρήματα των μελετών αυτών κάνουν λόγο για ανατομικές (Bloom, Garcia-Barrera, Miller, Miller, & Hynd 2013. Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz, & Geschwind, 1985. Leonard & Eckert, 2008) και λειτουργικές διαφοροποιήσεις (Eden & Moats, 2002. Gabrieli, 2009. Goswami, 2006. Maisog, Einbinder, Flowers, Turkeltaub, & Eden 2008. Paulesu et al., 2001. Peterson & Pennington, 2012. Shaywitz, 1998. Temple, 2002. Xu Yang, Siok, & Tan, 2015) στα γλωσσικά νευρωνικά δίκτυα του ΑΗ του εγκεφάλου. Ωστόσο, ορισμένες μελέτες έχουν αποτύχει να βρουν ανατομικές διαφοροποιήσεις στην εγκεφαλική πλευρίωση μεταξύ αναγνώστων με δυσλεξία και τυπικών αναγνώστων (Green et al., 1999. Schultz et al., 1994), ενώ άλλες μελέτες αναφέρονται σε ενισχυμένη εγκεφαλική πλευρίωση (Leonard & Eckert, 2008) στους αναγνώστες με δυσλεξία. Σχετικά με τη λειτουργική πλευρίωση, ενώ υπάρχει γενικότερη συμφωνία μεταξύ των μελετών αναφορικά με τη μειωμένη λειτουργικότητα των οπίσθιων περιοχών του ΑΗ στους δυσλεξικούς αναγνώστες (Gabrieli, 2009. Goswami, 2006. Maisog et al., 2008. Peterson & Pennington, 2012. Temple, 2002. Xu et al., 2015), η διαφωνία έγκειται στη λειτουργία των μετωπιαίων περιοχών του εγκεφάλου και συγκεκριμένα στην περιοχή του Broca, όπου τα αποτελέσματα ποικίλουν και κάνουν λόγο για μειωμένη (Paulesu et al., 1996), ενισχυμένη (Georgiewa et al., 2002. Shaywitz et al., 2007) και αντίστοιχη ενεργοποίηση (Maisog et al., 2008) κατά τη διάρκεια αναγνωστικών δοκιμασιών στους αναγνώστες με δυσλεξία συγκριτικά με τους τυπικούς αναγνώστες. Είναι κατά συνέπεια σαφές ότι το νευροβιολογικό υπόστρωμα της δυσλεξία αποτελεί

ένα ζωντανό πεδίο μελέτης, χωρίς όμως να έχει αποσαφηνιστεί ακόμα ο ρόλος της πλευρίωσης στη δυσλεξία.

Σκοπός του παρόντος άρθρου είναι η αφηγηματική ανασκόπηση ευρημάτων σχετικά με το νευροβιολογικό υπόστρωμα της δυσλεξίας, μέσα από μελέτες ανατομικής και λειτουργικής απεικόνισης. Πιο συγκεκριμένα, επιδιώκει να διερευνήσει την υπόθεση της ελλιπούς εγκεφαλικής πλευρίωσης, ανατομικά και λειτουργικά, δηλαδή εάν τα άτομα με δυσλεξία έχουν αναπτύξει την τυπική εγκεφαλική πλευρίωση για τη γλώσσα, ή αν εμφανίζουν συμμετρία ή ημισφαιρική επικράτηση στο δεξιό ημισφαίριο. Οι μελέτες νευροαπεικόνισης αποτελούν ένα χρήσιμο εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση του εγκεφαλικού υπόστρωματος της δυσλεξίας. Εφόσον είναι σε θέση να αναδείξουν το εγκεφαλικό σύστημα που δυσλειτουργεί στους δυσλεξικούς αναγνώστες, αυτό με τη σειρά του πιθανόν να οδηγήσει σε πιο ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με τη φύση της δυσλεξίας σε γνωστικό επίπεδο και θα συνεισφέρει στον σχεδιασμό κατάλληλων προγραμμάτων παρέμβασης (Demonet, Taylor, & Chaix, 2004).

## 2. Ανατομικές μελέτες

Μεγάλη συνεισφορά στη μελέτη του ανατομικού εγκεφαλικού υπόστρωματος της δυσλεξίας είχαν οι μελέτες του Galaburda και των συνεργατών του. Οι Galaburda et al. (1985), εξετάζοντας μετά θάνατον τέσσερις εγκεφάλους ανδρών και τρεις εγκεφάλους γυναικών με ιστορικό δυσλεξίας, βρήκαν ότι όλες οι περιπτώσεις διέφεραν σε μία ιδιαίτερα σημαντική για την κατανόηση του προφορικού λόγου εγκεφαλική δομή, το κροταφικό πεδίο (planum temporal, ΚΠ). Συγκεκριμένα, και στις επτά περιπτώσεις το ΚΠ εμφάνιζε συμμετρία στα δύο ημισφαίρια, λόγω ενός διευρυμένου ΚΠ στο δεξιό ημισφαίριο, σε αντίθεση με το γενικό πληθυσμό στον οποίο το ΚΠ είναι μικρότερο στο ΔΗ (Geschwind & Levitsky, 1968. Watkins et al., 2001). Επιπλέον, στη μεταθανάτια εξέταση των εγκεφάλων των ατόμων με δυσλεξία βρέθηκαν εκτοπίες στο αριστερό ΚΠ, δηλαδή μικροδομικές ανωμα-

λίες που σχηματίζονται λόγω της μη φυσιολογικής μετανάστευσης των νευρώνων κατά την προγεννητική ανάπτυξη του εγκεφάλου.

Τα ευρήματα αυτά σχετικά με τη μη τυπική αριστερή ασυμμετρία στο ΚΠ στη δυσλεξία επιβεβαιώθηκαν αργότερα και από μελέτες που χρησιμοποίησαν *in vivo* τη μέθοδο της τομογραφίας μαγνητικού συντονισμού (magnetic resonance imaging, MRI) σε παιδιά. Οι Hynd et al. (1990) διαπίστωσαν ότι εννιά από τα δέκα παιδιά με δυσλεξία που μελέτησαν παρουσίαζαν είτε ανεστραμμένη συμμετρία, με το αριστερό ΚΠ να είναι μικρότερο από το δεξιό, είτε είχαν συμμετρικά ΚΠ. Μεταξύ των μελετών που διαπίστωσαν αντίστοιχες διαφοροποιήσεις στο ΚΠ ήταν αυτή των Larsen, Hoiien, Lundberg και Odegaard (1990) που ήταν οι πρώτοι ερευνητές που συσχέτισαν αυτές τις ανατομικές διαφοροποιήσεις με τις ανεπάρκειες στο φωνολογικό τομέα της γλώσσας. Συγκρίνοντας τα ΚΠ 19 δεκαπεντάχρονων ατόμων με δυσλεξία και 17 συνομηλίκων τους που δεν αντιμετώπιζαν αναγνωστικές δυσκολίες, διαπίστωσαν ότι ένα μεγάλο ποσοστό από τους μαθητές με δυσλεξία (70%), οι οποίοι εμφάνιζαν δυσκολίες στην ανάγνωση ψευδολέξεων, είχε συμμετρικά ΚΠ. Σε μια πιο πρόσφατη μελέτη με τη χρήση MRI σε αρκετά μεγάλο δείγμα παιδιών ηλικίας 8-12 ετών (29 παιδιά με δυσλεξία και 26 παιδιά στην ομάδα ελέγχου) διαπιστώθηκαν επίσης σημαντικές διαφοροποιήσεις στο ΚΠ (Bloom et al., 2013). Παρότι το συνολικό δείγμα εμφάνισε την τυπική αριστερή ασυμμετρία στο ΚΠ, στα παιδιά με δυσλεξία η ασυμμετρία ήταν σημαντικά μειωμένη συγκριτικά με την ομάδα ελέγχου, καθότι τα παιδιά με δυσλεξία εμφάνιζαν μεγαλύτερης έκτασης ΚΠ στο δεξιό ημισφαίριο. Μάλιστα, στη συγκεκριμένη μελέτη, οι δύο ομάδες παιδιών είχαν σταθμιστεί ως προς την κυριοχειρία, τη λεκτική νοημοσύνη και το συνολικό μέγεθος του εγκεφάλου.

Ωστόσο, άλλες μελέτες, οι οποίες προσπάθησαν να επιβεβαιώσουν αυτά τα ευρήματα αναφορικά με το ΚΠ, δεν κατάφεραν να εντοπίσουν σημαντικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και τυπικών αναγνωστών (για ανασκ. βλ. Habib, 2000. Leonard & Eckert, 2008). Μάλιστα, οι Leonard και Eckert (2008), πραγματοποιώντας

ανασκόπηση των δικών τους ανατομικών μελετών βρέθηκαν αντιμετώπι με το εξής παράδοξο: σε παιδιά βρήκαν ότι μεταξύ της αναγνωστικής ικανότητας και της ασυμμετρίας στο ΚΠ υπάρχει μία γραμμική σχέση, με τους καλούς αναγνώστες να έχουν αναπτύξει την τυπική αριστερή ασυμμετρία, ενώ όσοι είχαν πιο έντονες αναγνωστικές δυσκολίες εμφάνιζαν συμμετρία ή μεγαλύτερο ΚΠ στο δεξιό ημισφαίριο (Eckert, Lombardino, & Leonard, 2001. Leonard, et al., 1996). Αντίθετα, οι ενήλικες με δυσλεξία εμφάνιζαν την τυπική αριστερή ασυμμετρία στο ΚΠ, όμως είχαν μεγαλύτερο κροταφικό λοβό στο ΑΗ (λόγω μιας επιπλέον έλικας στο ανώτερο τμήμα της πλάγιας σχισμής του Σύλβιους), εύρημα που εντοπίστηκε και στα μέλη της οικογένειάς τους (Leonard et al., 1993). Αξιολογώντας συγκριτικά τα αποτελέσματα των μελετών τους, οι Leonard και Eckert (2008) ανέφεραν ότι πιθανόν τα άτομα με πολλαπλές δυσκολίες στο γραπτό και προφορικό λόγο, όπως τα παιδιά που συμμετείχαν στις μελέτες τους, τα οποία πέρα από τις φτωχές αναγνωστικές επιδόσεις εμφάνιζαν και περαιτέρω γλωσσικής φύσεως δυσκολίες, φαίνεται να εμφανίζουν πιο συμμετρικούς εγκεφάλους, ενώ το αντίθετο, μία ενίσχυση της τυπικής εγκεφαλικής ασυμμετρίας παρατηρείται στους ενήλικες με δυσλεξία, οι οποίοι έχουν καταφέρει να αντισταθμίσουν τις δυσκολίες τους και εμφανίζουν μονάχα ανεπάρκεια στη φωνολογική επεξεργασία κατά την ανάγνωση (Leonard & Eckert, 2008).

Παρότι το ΚΠ αποτελεί την πλέον μελετημένη ανατομική ασυμμετρία σχετικά με τη δυσλεξία (Bloom et al., 2013) και άλλες μορφολογικές διαφοροποιήσεις έχουν προσελκύσει το ερευνητικό ενδιαφέρον. Οι Habib και Robichon (1996) εξετάζοντας 16 νέους ενήλικες με δυσλεξία βρήκαν ότι εμφάνιζαν μειωμένη ασυμμετρία σε μια περιοχή του βρεγματικού λοβού που βρίσκεται μπροστά από το ΚΠ, την βρεγματική καλύπτρα (parietal operculum) σε σύγκριση με τα 14 άτομα της ομάδας ελέγχου. Μάλιστα, θεωρήθηκε από τους ερευνητές ότι αυτή η βρεγματική ασυμμετρία αποτελεί ίσως το πιο ενδεικτικό ανατομικό χαρακτηριστικό της εγκεφαλικής οργάνωσης των ατόμων με δυσλεξία.

Μία ακόμα κρίσιμη για τη γλώσσα εγκεφαλική δομή, η γωνιώδης έλικα, η οποία βρίσκεται πίσω από την περιοχή του Wernicke στο κατώτερο οπίσθιο τμήμα του βρεγματικού λοβού, έχει συσχετιστεί με τη δυσλεξία. Ο Hinshewood, μόλις το 1896, είχε θεωρήσει ότι βλάβη στην αριστερή γωνιώδη έλικα προκαλεί «λεξική τύφλωση» και ο Genchwind (1979) υπέθεσε ότι μια βλάβη στην περιοχή αυτή εξασθενεί την κατανόηση του γραπτού λόγου. Σε μία έρευνα στην οποία χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος MRI οι ερευνητές εισηγήθηκαν ότι υπήρχε ανατομική ανωμαλία στην περιοχή της γωνιώδους έλικας στα άτομα με δυσλεξία (Duara et al., 1991).

Αντίστοιχες μορφολογικές διαφοροποιήσεις μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και τυπικών αναγνωστών έχουν αναφερθεί και για τις μετωπιαίες περιοχές του φλοιού, συγκεκριμένα την κάτω μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca) (Robinchon, Levrier, Farnarier, & Habib, 2000), την παρεγκεφαλίδα (Eckert, et al., 2003. Leonard et al., 2001) και το μεσολόβιο. Σχετικά με το μεσολόβιο, ευρήματα από μελέτες με τη χρήση MRI, έδειξαν ότι παιδιά με δυσλεξία εμφανίζουν διαφοροποιήσεις από την ομάδα ελέγχου στο πρόσθιο τμήμα του μεσολοβίου, το γόνυ, που είναι μικρότερο (Hynd et al., 1995), ενώ ενήλικες με δυσλεξία έχουν μεγαλύτερης έκτασης σπλήνιο, δηλαδή οπίσθιο τμήμα του μεσολοβίου (Duara et al., 1991). Αντίθετα, μια άλλη μελέτη των Larsen, Hoien και Odegaard (1992) σε 17 εφήβους με δυσλεξία δεν εντόπισε διαφορές ως προς το σπλήνιο και συνολικά ως προς το μεσολόβιο μεταξύ των ατόμων με δυσλεξία και των τυπικών αναγνωστών.

Πέρα από τη μελέτη των ανατομικών διαφοροποιήσεων σε συγκεκριμένες εγκεφαλικές περιοχές, με την εξέλιξη των μεθόδων απεικόνισης κατέστη εφικτή η μελέτη της πυκνότητας της φαιάς και της λευκής ουσίας του εγκεφάλου. Με τη μη παρεμβατική μέθοδο απεικόνισης του Τανιστή Διάχυσης (DTI, Diffusion Tensor Imaging) που επιτρέπει την τρισδιάστατη οπτικοποίηση των νευραξόνων, βρέθηκε ότι στις κροταφοβρεγματικές περιοχές του ΑΗ, γύρω από την πλάγια σχισμή του Σύλβιους, υπάρχει μειωμένη λευκή ουσία σε ενήλικες δυσλεξικούς αναγνώστες (Klingberg et

al., 2000), αλλά και σε παιδιά (Deutsch et al., 2005). Το εύρημα αυτό συσχετίστηκε με την μειωμένη ικανότητα τους για αναγνωστική ταχύτητα και ακρίβεια (Steinbrink et al., 2008). Αντίστοιχες διαφοροποιήσεις έχουν αναφερθεί και για τον όγκο της φαιάς ουσίας μεταξύ των ημισφαιρίων (Hoefl et al., 2007). Από μία μετανάλυση μελετών που είχαν χρησιμοποιήσει μαγνητική τομογραφία με επεξεργασία μορφομετρίας βασισμένη σε ογκοστοιχείο (Voxel-Based Morphometry) για τον έλεγχο της φαιάς ουσίας ατόμων με δυσλεξία, προέκυψε ότι τα άτομα αυτά εμφανίζουν μειωμένους δείκτες κυρίως στις κροταφικές περιοχές του ΑΗ, αλλά και στην άνω κροταφική έλικα του ΔΗ (Richlan, Kronbichler, & Wimmer, 2013). Αναφορικά με το ΔΗ, το εύρημα δεν ήταν αναμενόμενο, αλλά ο αντίστοιχος εντοπισμός του σε δύο πρόσφατες μελέτες σε παιδιά που δεν είχαν μάθει ακόμα ανάγνωση και είχαν ιστορικό δυσλεξίας στην οικογένειά τους (Black et al., 2012. Raschle, Chang, & Gaab, 2011) έκανε τους ερευνητές να εισηγηθούν ότι ενδεχομένως να αποτελεί ένα νευροανατομικό παράγοντα επικινδυνότητας για την εμφάνιση αναγνωστικών δυσκολιών σε συνδυασμό με τη μειωμένη πυκνότητα στο ΑΗ (Richlan et al., 2013).

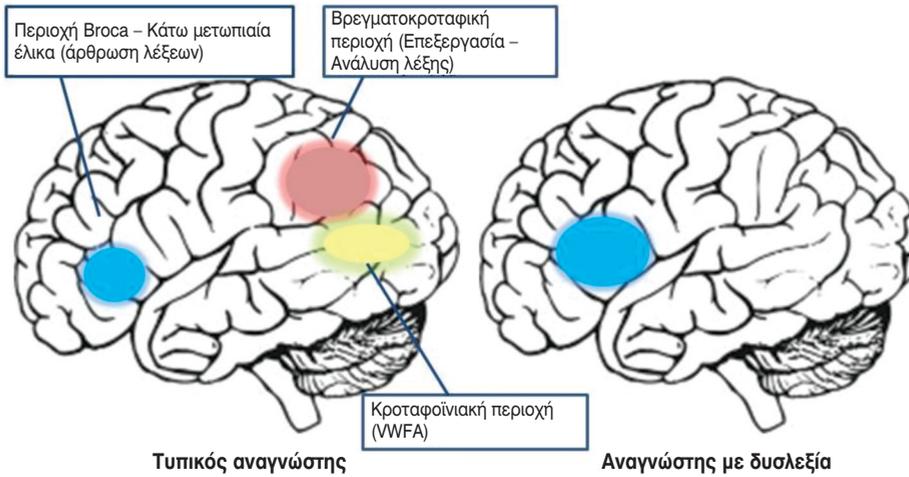
### 3. Λειτουργικές μελέτες

Η σημασία της μελέτης των ανατομικών ασυμμετριών έγκειται στην πιθανή συσχέτισή τους με τη λειτουργικότητα, δηλαδή την ασύμμετρη συμμετοχή των δύο ημισφαιρίων στη γλωσσική λειτουργία. Τις τελευταίες δεκαετίες η ανάπτυξη των μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου, αποτέλεσε ένα από τα σημαντικότερα επιστημονικά άλματα τόσο για την κατανόηση της λειτουργίας του εγκεφάλου, όσο και για τη χαρτογράφηση των εγκεφαλικών περιοχών που υποστηρίζουν την κάθε γνωστική λειτουργία (Παπαδάτου-Παστού, Κουφάκη, Ράντου, & Τόμπρου, 2013). Οι πλέον σημαντικές διαπιστώσεις αναφορικά με το νευροβιολογικό υπόστρωμα της δυσλεξίας έχουν προκύψει από τη χρήση αυτών των μεθόδων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αναγνωστι-

κών δοκιμασιών, καθώς με αυτόν τον τρόπο κατέστη εφικτή η απεικόνιση του εγκεφαλικού μηχανισμού του τυπικού αναγνώστη και δόθηκε η δυνατότητα για να ελεγχθεί κατά πόσο αυτός διαφοροποιείται από του ατόμου που εμφανίζει δυσλεξία (Σίμος et al., 2004).

Ο εγκεφαλικός μηχανισμός που υποστηρίζει την αναγνωστική λειτουργία είναι συνθετότερος από εκείνον του προφορικού λόγου (Price, 2012). Η πλειονότητα των μελετών λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου με τη χρήση PET, fMRI και μαγνητοεγκεφαλογραφίας (MEG, Magnetic Source Imaging, γνωστή και ως μέθοδος απεικόνισης πηγών μαγνητικής ροής, MSI) συμφωνούν ότι η ανάγνωση και οι επιμέρους δεξιότητες που τη συνθέτουν βασίζονται σε ένα δίκτυο στενά διασυνδεδεμένων εγκεφαλικών περιοχών, οι περισσότερες εκ των οποίων βρίσκονται στο οπίσθιο μέρος του αριστερού ημισφαιρίου (Goswami, 2008. Houde, Rossi, Lubin, & Joliot, 2010. Price & McCrory, 2005. Pugh et al., 2000). Οι περιοχές αυτές οργανώνονται σε τρία επιμέρους τμήματα (Pugh et al., 2000. Σίμος et al., 2004) με βάση τη λειτουργική τους εξειδίκευση: α) το κροταφοβρεγματικό τμήμα που περιλαμβάνει τη γωνιώδη έλικα, την υπερχειλίο έλικα (στον κάτω βρεγματικό λοβό) και την περιοχή Wernicke, β) το κροταφοϊνιακό τμήμα που περιλαμβάνει συνειρμικές περιοχές του οπτικού φλοιού που εντοπίζονται στη γλωσσοειδή και τη σφηνοειδή έλικα στη βάση του εγκεφάλου και επίσης ένα τμήμα της μέσης κροταφικής έλικας και γ) την περιοχή Broca στην κατώτερη μετωπιαία έλικα.

Τα μέχρι τώρα αποτελέσματα της εφαρμογής μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης PET, MEG και fMRI συμφωνούν με τη συμμετοχή αυτών των εγκεφαλικών περιοχών στην αναγνωστική λειτουργία (Pugh et al., 2000. Shaywitz et al., 1998. Σίμος et al., 2004. Temple, 2002) (βλ. Εικ.1.) και τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνονται και από διαγλωσσικές μελέτες, καθώς οι έμπειροι αναγνώστες φαίνεται να ενεργοποιούν τις μετωπιαίες, κροταφοβρεγματικές και κροταφοϊνιακές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου ανεξαρτήτως της αναγινωσκόμενης γλώσσας (Paulesu et al., 2001. Price & McCrory, 2005).



**Εικόνα 1.** Σχηματική αναπαράσταση της νευρωνικής δραστηριότητας στο αριστερό ημισφαίριο του εγκεφάλου μεταξύ τυπικών αναγνώστων και αναγνώστων με δυσλεξία, όπως καταγράφηκε με τη μέθοδο fMRI κατά τη διάρκεια της αναγνωστικής διαδικασίας. Οι αναγνώστες που δεν εμφανίζουν δυσκολίες, ενεργοποιούν τρεις περιοχές κατά την αναγνωστική διαδικασία: μετωπιαίες για την άρθρωση των λέξεων, κροταφοβρεγματικές για τη γλωσσική ανάλυση και επεξεργασία του γραπτού λόγου και κροταφοϊνιακές για τη γραφημική επεξεργασία και την αυτοματοποιημένη αναγνώριση των λέξεων, ενώ τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν μειωμένη δραστηριότητα στις οπίσθιες περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου, εύρημα το οποίο διαλευκάνει τη νευρολογική βάση της δυσλεξίας. Επίσης, φαίνεται να ενεργοποιούν αμφίπλευρα τις μετωπιαίες περιοχές (κάτω μετωπιαία έλικα).

Σε αντίθεση με τους τυπικούς αναγνώστες, ο εγκεφαλικός μηχανισμός της αναγνωστικής λειτουργίας στα άτομα με δυσλεξία, διαφέρει σημαντικά. Προβαίνοντας σε μία ανασκόπηση των μελετών που χρησιμοποίησαν μεθόδους λειτουργικής απεικόνισης εγκεφάλου PET, fMRI και MEG, οι Pugh et al. (2000, 2001) αναφέρουν ότι όλες οι μελέτες συγκλίνουν στο ότι τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν μειωμένη νευρωνική δραστηριότητα στις οπίσθιες περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου. Μάλιστα, φαίνεται να στηρίζονται περισσότερο στις ομόλογες δομές του δεξιού ημισφαιρίου και να ενεργοποιούν αμφίπλευρα τις μετωπιαίες περιοχές (κάτω μετωπιαία έλικα) στα δύο εγκεφαλικά ημισφαίρια (Pugh et al., 2001. Shaywitz, et al., 2002) (βλ. Εικ. 1).

Πρώτοι οι Rumsey et al. (1992) με τη χρήση της μεθόδου PET εντόπισαν αυτή τη διαφοροποι-

ηση στη νευρωνική δραστηριότητα μεταξύ αναγνώστων με δυσλεξία και τυπικών αναγνώστων όταν τους χορήγησαν φωνολογικές δοκιμασίες ακουστικών ερεθισμάτων. Συγκεκριμένα, βρέθηκε ότι οι αναγνώστες με δυσλεξία αποτύγχαναν να ενεργοποιήσουν τις αριστερές οπίσθιες κροταφικές και πρόσθιες βρεγματικές περιοχές και εμφάνιζαν υπερδραστηριότητα στο δεξιό κροταφικό φλοιό. Στα ίδια ευρήματα οδηγήθηκαν και οι Paulesu et al. (1996), χρησιμοποιώντας την ίδια μέθοδο απεικόνισης εγκεφάλου, αλλά με τη χορήγηση φωνολογικών δοκιμασιών με οπτικά ερεθίσματα. Ένα επιπρόσθετο εύρημα στη μελέτη τους ήταν ότι οι αναγνώστες με δυσλεξία εμφάνιζαν μειωμένη, έως και μηδενική, ενεργοποίηση στις περιοχές Broca και Wernicke κατά τη διάρκεια ορισμένων φωνολογικών δοκιμασιών συγκριτικά με τους τυπικούς αναγνώστες, ενώ για καμία

από τις δοκιμασίες δεν υπήρξε ενεργοποίηση στη νήσο του Reil (insula) στο ΑΗ, με αποτέλεσμα οι Paulesu et al. να αποδώσουν τις φωνολογικές δυσκολίες στη μειωμένη συνδεσιμότητα μεταξύ των εμπρόσθιων και οπίσθιων γλωσσικών περιοχών του εγκεφάλου στο ΑΗ.

Οι Shaywitz et al. (1998) προσπάθησαν να επαληθεύσουν αυτά τα ευρήματα σε 30 ενήλικες με δυσλεξία με την μέθοδο fMRI, χορηγώντας πολλές δοκιμασίες αναγνωστικής ικανότητας. Σε αντίθεση με τους τυπικούς αναγνώστες που κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών στηρίζονταν στο οπίσθιο τμήμα του αριστερού ημισφαιρίου και συγκεκριμένα στο οπίσθιο τμήμα της άνω κροταφικής έλικας (περιοχή Wernicke), στη γωνιώδη έλικα, στον κροταφοϊνιακό και συνειρμικό οπτικό φλοιό, αναγνώστες με δυσλεξία αδυνατούσαν να επιδείξουν την ίδια ενεργοποίηση στις περιοχές αυτές. Αντίθετα, όσο αυξάνονταν οι φωνολογικές απαιτήσεις των δοκιμασιών εμφάνιζαν αυξημένη ενεργοποίηση στις μετωπιαίες περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου και στην κάτω μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca) αμφίπλευρα (βλ. Εικ. 1). Η απουσία ή η μειωμένη ενεργοποίηση των οπίσθιων περιοχών του αριστερού ημισφαιρίου κατά τη διάρκεια των δοκιμασιών φωνολογικής επεξεργασίας επιβεβαιώνεται σχεδόν από όλες τις μελέτες που έχουν χρησιμοποιήσει τις μεθόδους λειτουργικής απεικόνισης PET, fMRI (για ανασκ. βλ. Pugh et al., 2001. Shaywitz et al., 1998. Temple, 2002) και MEG (Salmelin, Kiesila, Uutela, Service & Salonen, 1996) σε ενήλικες με δυσλεξία.

Μάλιστα, σε μια πρόσφατη μελέτη οι Paulesu, Danelli και Berlinger (2014) προβαίνοντας σε μετανάλυση 53 ερευνών λειτουργικής απεικόνισης PET και fMRI, συμπέραναν ότι οι αναγνώστες με δυσλεξία, εμφάνιζαν μειωμένη δραστηριότητα στο ΑΗ και συγκεκριμένα στο κροταφοϊνιακό τμήμα κατά τη διάρκεια εκτέλεσης αναγνωστικών δοκιμασιών και δοκιμασιών σχετικών με την αναγνωστική λειτουργία, όπως οι οπτικο-φωνολογικές. Αντίστοιχα, εντόπισαν ότι άλλες δοκιμασίες που σχετίζονται με την ανάγνωση, όπως η προσοχή και η κίνηση, ενδεχομένως να σχετίζονται με μη τυπική λειτουργικότητα του ραχιαίου τμήματος του μετωπιαίου και βρεγματικού λοβού στο ΑΗ.

Αυτή η αυξημένη λειτουργικότητα στο δεξιό ημισφαίριο και η αμφίπλευρη ενεργοποίηση των μετωπιαίων περιοχών που εμφανίζουν τα άτομα με δυσλεξία σε αντίθεση με τους τυπικούς αναγνώστες, έχει ερμηνευτεί ως μία αντισταθμιστική στρατηγική που εκδηλώνεται λόγω της αδυναμίας των ατόμων με δυσλεξία να βασιστούν στο οπίσθιο τμήμα του «τυπικού» για τις γλωσσικές λειτουργίες αριστερού ημισφαιρίου (Pugh et al., 2000). Ένα ερώτημα που προκύπτει είναι εάν αυτές οι λειτουργικές διαφοροποιήσεις που εμφανίζουν τα άτομα με δυσλεξία είναι αποτέλεσμα της αναγνωστικής τους δυσκολίας ή προϋπάρχουν, επομένως θα μπορούσαν να αποτελέσουν ένα νευροβιολογικό αιτιολογικό παράγοντα για την εμφάνισή της. Για να απαντηθεί αυτό το ερώτημα, τότε θα πρέπει ο ίδιος εγκεφαλικός μηχανισμός να μελετηθεί και σε παιδιά με δυσλεξία, που δεν έχουν αναπτύξει πλήρως τις αναγνωστικές τους ικανότητες (Temple, 2002).

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο MEG, οι Paraniolaou et al. (2003), μελέτησαν παιδιά που μόλις είχαν τελειώσει το νηπιαγωγείο και δεν είχαν διαγνωστεί με δυσλεξία, καθώς σε αυτή την ηλικία δεν έχουν αναπτύξει ακόμα αναγνωστικές δεξιότητες, αλλά περιλαμβάνονταν σε ομάδα κινδύνου για να εμφανίσουν μετέπειτα αναγνωστικές δυσκολίες, όπως φάνηκε μέσα από προαναγνωστικές δοκιμασίες. Τα παιδιά αυτά, κατά τη διάρκεια μίας δοκιμασίας φωνολογικής αποκωδικοποίησης, φάνηκε να ενεργοποιούν περισσότερο την άνω κροταφική έλικα στο ΔΗ συγκριτικά με το ΑΗ, περιοχή που έχει σημαντικό ρόλο στη φωνολογική αποκωδικοποίηση της γλώσσας (Simos et al., 2000c), εύρημα που δεν παρουσιάζονταν στην ομάδα ελέγχου.

Οι Temple et al. (2001) μελέτησαν παιδιά ηλικίας 8-12 ετών με τη μέθοδο fMRI και βρήκαν ότι τα παιδιά χωρίς αναγνωστικά προβλήματα παρουσίαζαν αντίστοιχο εγκεφαλικό μηχανισμό με τους ενήλικες τυπικούς αναγνώστες, ενώ τα παιδιά με δυσλεξία, κατά αντιστοιχία με τους ενήλικες με δυσλεξία, αποτύγχαναν να εμφανίσουν δραστηριότητα στις κροταφοβρεγματικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου. Στα ίδια ευρήματα κατέληξαν και δύο μελέτες με τη μέθοδο MEG

(Simos et al., 2000a. Simos, Breier, Fletcher, Bergman, & Papanicolaou, 2000b). Συγκεκριμένα, τα παιδιά με δυσλεξία παρουσίαζαν μειωμένη ενεργοποίηση στην κροταφοβρεγματική περιοχή, στην κροταφοϊνιακή περιοχή και στη γωνιώδη έλικα, με πιο έντονη και συστηματικά μειωμένη δραστηριότητα στο οπίσθιο τμήμα της άνω κροταφικής έλικας και σε τμήμα της υπερχειλίας έλικας. Αντίθετα, εμφάνιζαν αυξημένη ενεργοποίηση στη δεξιά κροταφοβρεγματική περιοχή και στην κάτω μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca) αμφίπλευρα (βλ. Σίμος et al., 2004).

Επομένως, οι μελέτες τόσο σε ενήλικες όσο και σε παιδιά με δυσλεξία συμφωνούν ότι τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν λειτουργικές διαφοροποιήσεις στον εγκέφαλο όσον αφορά την αναγνωστική λειτουργία (Paulesu et al., 2014). Ωστόσο, με δεδομένο ότι οι μέθοδοι λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου στηρίζονται σε δοκιμασίες που απαιτούν κυρίως γραπτό λόγο για την ενεργοποίηση και καταγραφή της εγκεφαλικής δραστηριότητας, οι Illingworth και Bishop (2009) μελέτησαν τη σχέση της δυσλεξίας με την πλευρίωση της γλώσσας με τη μέθοδο απεικόνισης εγκεφάλου του διακρανιακού υπερήχου Doppler. Ο διακρανιακός υπέρηχος Doppler επιτρέπει την άμεση αξιολόγηση της πλευρίωσης της γλώσσας στον εγκέφαλο, μέσω δοκιμασιών που επιτρέπουν τη χρήση του προφορικού λόγου (Knecht et al., 1998).

Μελετώντας 30 ενήλικες με δυσλεξία και 30 ενήλικες που δεν εμφάνιζαν αναγνωστικά προβλήματα, βρήκαν ότι οι πρώτοι εμφάνιζαν μειωμένα επίπεδα τυπικής αριστερής ασυμμετρίας. Συγκεκριμένα, στην ομάδα των ενηλίκων χωρίς δυσλεξία, 28 συμμετέχοντες εμφάνιζαν την τυπική αριστερή πλευρίωση για τη γλώσσα και δύο συμμετέχοντες παρουσίαζαν συμμετρία, ενώ κανένας δεν εμφάνιζε δεξιά πλευρίωση. Αντίθετα, 23 ενήλικες με δυσλεξία εμφάνιζαν την τυπική αριστερή ασυμμετρία, μόλις τρεις εμφάνισαν συμμετρία, ενώ τέσσερις ενήλικες είχαν δεξιά πλευρίωση, εύρημα που φανερώνει ότι οι ενήλικες με δυσλεξία εμφάνιζαν μία τάση προς την συμμετρία και την μη τυπική πλευρίωση (Illingworth & Bishop, 2009).

#### 4. Συμπεράσματα

Στόχος του παρόντος άρθρου ήταν να διερευνήσει τη σχέση μεταξύ της δυσλεξίας και της εγκεφαλικής ασυμμετρίας, μέσα από την αφηγηματική ανασκόπηση των ευρημάτων μελετών απεικόνισης του εγκεφάλου. Με βάση τα δεδομένα των ανατομικών και λειτουργικών νευροαπεικονιστικών ερευνών προκύπτει ότι η δυσλεξία, ούσα μια γλωσσικής φύσεως διαταραχή, και η μη τυπική πλευρίωση στο νευρολογικό υπόστρωμα της γλώσσας είναι στενά συνδεδεμένα.

Οι ανατομικές και οι λειτουργικές μελέτες φανερώνουν ότι τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν ένα διαφορετικό πρότυπο εγκεφαλικής οργάνωσης συγκριτικά με τους τυπικούς αναγνώστες. Συγκεκριμένα, από την ανασκόπηση των ανατομικών μελετών προκύπτει ότι τόσο οι μεταθανάτιες μελέτες στους εγκεφάλους των ατόμων με δυσλεξία, όσο και οι πιο σύγχρονες τεχνικές νευροαπεικόνισης εντοπίζουν δομικές διαφορές στο ΚΠ, που αποτελεί μια κρίσιμη για τη γλώσσα εγκεφαλική δομή, με το ΚΠ στο ΔΗ να εμφανίζεται διευρυμένο (Bloom et al., 2013). Αναφορικά με τις μελέτες λειτουργικής απεικόνισης, υπάρχει γενικότερη συμφωνία σχετικά με τη μειωμένη δραστηριότητα του ΑΗ και την αντίστοιχη εμπλοκή του ΔΗ κατά τη διάρκεια των αναγνωστικών δοκιμασιών, εύρημα που εντοπίζεται και σε ενήλικες και σε παιδιά με δυσλεξία (Paulesu et al., 2014).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω ευρήματα, η υπόθεση περί ελλειπούς εγκεφαλικής πλευρίωσης, φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό νευροβιολογικό παράγοντα της δυσλεξίας. Επομένως, η υπόθεση που διατυπώθηκε από τον Orton (1925. 1937) πριν από περίπου ένα αιώνα, φαίνεται να είναι ορθή, παρά το γεγονός ότι τα δεδομένα στα οποία στηρίχτηκε για τη διατύπωσή της δεν επιβεβαιώνονται (Bishop, 1990. Illingworth & Bishop, 2009).

Ωστόσο, δε θεωρείται εύλογο να προβαίνει κανείς σε αυθαίρετες γενικεύσεις όπως ότι η μη τυπική ημισφαιρική επικράτηση για τη γλώσσα οδηγεί στη δυσλεξία, αφού οι περισσότεροι άνθρωποι από το γενικό πληθυσμό που εμφανίζουν πλευρίωση της γλώσσας στο δεξιό ημισφαίριο δεν εμφανίζουν δυσλεξία (Illingworth & Bishop, 2009).

Η δυσλεξία, είναι μια πολύπλοκη διαταραχή που χρήζει πολυεπίπεδης προσέγγισης, καθώς πολλοί παράγοντες συμβάλλουν στην εμφάνισή της, όπως γενετικοί, νευροβιολογικοί, γνωστικοί και περιβαλλοντικοί (Beaton, 2004. Frith, 1999). Η συμμετρία ή η μη τυπική πλευρίωση της γλώσσας φαίνεται να αποτελεί έναν από αυτούς τους παράγοντες που συμβάλλουν στην εμφάνισή της, αλλά δεν αποτελεί τον μοναδικό.

Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι η δυσλεξία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ετερογένεια καθώς, σύμφωνα με πρόσφατες ερευνητικές μελέτες, οι αναγνωστικές δυσκολίες που παρουσιάζουν τα άτομα με δυσλεξία δεν είναι ομοιογενείς, οδηγώντας στη ανάγκη διαχωρισμού υποτύπων δυσλεξίας (Douklias Masterson, & Hanley, 2009. Heim et al., 2008). Μία πιο σύγχρονη εκδοχή της σχέσης της δυσλεξίας με την πλευρίωση είναι ότι διαφορετικού τύπου αναγνωστικές δυσκολίες συνδέονται με διαφοροποιημένη πλευρίωση, ανατομικά (Leonard & Eckert, 2008) και λειτουργικά (Illingworth & Bishop, 2009. Κουφάκη, 2014. Shaywitz et al., 2003). Μελλοντικά, η έρευνα του διαφορετικού εγκεφαλικού προτύπου που πιθανόν να μοιράζονται τα άτομα με διαφορετικού τύπου αναγνωστικές δυσκολίες θα συνεισφέρει στη δημιουργία διαφορετικών εκπαιδευτικών παρεμβάσεων, που να είναι σύμφωνες με τις ατομικές ιδιαιτερότητες του κάθε ατόμου με δυσλεξία (Annett, 2011. Gabrielli, 2009).

Η συνεχώς αυξανόμενη γνώση για τη λειτουργικότητα του εγκεφάλου μπορεί να μας βοηθήσει να προβλέψουμε και να αποφύγουμε ορισμένες μορφές μαθησιακής ή αναγνωστικής αποτυχίας (Crespi & Cooke, 2003). Με τη βοήθεια των μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης, η παρέμβαση για την αντιμετώπιση των αναγνωστικών και γλωσσικών προβλημάτων θα μπορούσε να συμβαίνει πολύ νωρίτερα για την πλειονότητα των παιδιών πριν να παγιωθούν αυτές οι δυσκολίες και να επιδράσουν στη γενικότερη συμπεριφορά τους (Goswami, 2004). Επίσης, η επαναδιοργάνωση του εγκεφάλου, λόγω της πλαστικότητας των νευρώνων, που έχει καταδειχθεί μέσα από τις μελέτες λειτουργικής απεικόνισης μετά από την εφαρμογή εκπαιδευτικής παρέμβασης (Σίμος et al.,

2004), αποτελεί ίσως την πιο αισιόδοξη προοπτική για το μέλλον της εκπαίδευσης των μαθητών που αντιμετωπίζουν εξελικτικής φύσεως μαθησιακές δυσκολίες.

Συμπερασματικά, η δυσλεξία, είναι μια πολύπλοκη διαταραχή που χρήζει πολυεπίπεδης προσέγγισης και η εγκεφαλική ασυμμετρία φαίνεται να αποτελεί ένα σημαντικό νευροβιολογικό παράγοντα για την εμφάνισή της. Περαιτέρω έρευνα που θα στοχεύει στην διάκριση υποτύπων δυσλεξίας κρίνεται αναγκαία για τον μελλοντικό σχεδιασμό στοχευμένων μεθόδων αντιμετώπισης καθώς η θεραπευτική παρέμβαση για να είναι επιτυχής είναι σημαντικό να στοχεύει στις συγκεκριμένες ανάγκες του κάθε μαθητή.

## Βιβλιογραφία

- Annett, M. (1985). *Left, right, hand and brain: The right shift theory*. Hove, UK: Lawrence Erlbaum Associates Ltd.
- Annett, M. (2011). Dyslexia and handedness: Developmental phonological and surface dyslexias are associated with different biases for handedness. *Perceptual and Motor Skills*, 112 (2), 417-425.
- Beaton, A. (2004). *Dyslexia, reading, and the brain*. East Essex, UK: Psychology Press.
- Bisazza, A., Rogers, L. J., & Vallortigara, G. (1998). The origins of cerebral asymmetry: A review of evidence of behavioural and brain lateralization in fishes, reptiles and amphibians. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 22, 411-426.
- Bishop, D. (2006). Developmental cognitive genetics: How psychology can inform genetics and vice versa. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1153-1168.
- Black, J. M., Tanaka, H., Stanley, L., Nagamine, M., Zakerani, N., Thurston, A., ...Hoeft, F. (2012). Maternal history of reading difficulty is associated with reduced language-related gray matter in beginning readers. *Neuroimage*, 59, 3021-3032.
- Bloom, J. S., Garcia-Barrera, M. A., Miller, C. J., Miller, S. R., & Hynd, G. W. (2013). Planum temporale morphology in children with developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 51, 1684-1692.
- Βλάχος, Φ. (2010). Δυσλεξία: Μια συνθετική προσέγγιση αιτιολογικών θεωριών. *Hellenic Journal of Psychology*, 7, 205-240.

- Corballis, M. C. (1974). The left-right problem in Psychology. *Canadian Psychologist*, 15 (1), 16-33.
- Crespi, T. D., & Cooke, D. T. (2003). Specialization in neuropsychology: Contemporary concerns and considerations for school psychology. *The School Psychologist*, 57 (3), 97-100.
- Demonet, J. F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Seminar: Developmental dyslexia. *The Lancet*, 363, 1451-1460.
- Deutsch, G. K., Dougherty, R. F., Bammer, R., Siok, W. T., Gabrieli, J. D., & Wandell, B. (2005). Children's reading performance is correlated with white matter structure measured by diffusion tensor imaging. *Cortex*, 41, 354-363.
- Douklias, S. D., Masterson, J., & Hanley, J. R. (2009). Surface and phonological developmental dyslexia in Greek. *Cognitive Neuropsychology*, 26 (8), 705-723.
- Duara, R., Kushch, A., Gross-Glenn, K., Barker, W., Jalland, B., Pascal, P., ... Lubs, H. (1991). Neuroanatomic differences between dyslexics and normal readers on Magnetic Resonance Imaging scan. *Archives of Neurology*, 48, 410-416.
- Eckert, M. A., Leonard, C. M., Richards, T. L., Aylward, E. H., Thomson, J., & Berninger, V. W. (2003). Anatomical correlates of dyslexia: Frontal and cerebellar findings. *Brain*, 126, 482-494.
- Eckert, M. A., Lombardino, L. J., & Leonard, C. M. (2001). Planar asymmetry tips the phonological playground and environment raises the bar. *Child Development*, 72, 988-1002.
- Eden, G. F., & Moats, L. (2002). The role of neuroscience in the remediation of students with dyslexia. *Nature Neuroscience*, 5, 1080-1084.
- Eglinton, E., & Annett, M. (1994). Handedness and dyslexia: A meta-analysis. *Perceptual and Motor Skills*, 79, 1611-1616.
- Facoetti, A., Paganoni, P., Turatto, M., Marzola, V., & Mascetti, G. G. (2000). Visual-spatial attention in developmental dyslexia. *Cortex*, 36, 109-123.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia: An International Journal of Research and Practice*, 5, 192-214.
- Gaab, N., Gabrieli, J. D., Deutsch, G. K., Tallal, P., & Temple, E. (2007). Neural correlates of rapid auditory processing are disrupted in children with developmental dyslexia and ameliorated with training: An fMRI study. *Restorative Neurology and Neuroscience*, 25, 295-310.
- Gabrieli, J. D. E. (2009). Dyslexia: A new synergy between education and cognitive neuroscience. *Science*, 325, 280-283.
- Galaburda, A. M., Sherman, G. F., Rosen, G. D., Aboitiz, F., & Geschwind, N. (1985). Developmental dyslexia: Four consecutive patients with cortical anomalies. *Annals of Neurology*, 18, 222-233.
- Georgiewa, P., Rzannyb, R., Gaserc, C., Gerharda, U. J., Viewega, U., Freesmeyera, D., Mentzelb, H. J., Kaiserb, W.A., & Blanza, B. (2002). Phonological processing in dyslexic children: A study combining functional imaging and event related potentials. *Neuroscience Letters*, 318, 5-8.
- Geschwind, N. (1979). Specializations of the human brain. *Scientific American*, 24, (3), 158-168.
- Geschwind, N., & Galaburda A. M. (1985a). Cerebral lateralization. Biological mechanisms, associations, and pathology: I. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42, 428-459.
- Geschwind, N., & Galaburda, A. M. (1985b). Cerebral lateralization. Biological mechanisms, associations, and pathology: II. A hypothesis and a program for research. *Archives of Neurology*, 42, 521-552.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain left-right asymmetries in temporal speech region. *Science*, 161, 186-187.
- Goswami, U. (2004). Neuroscience, education and special education. *British Journal of Special Education*, 31 (4), 175-183.
- Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 406-413.
- Goswami, U. (2008). Reading, dyslexia and the brain. *Educational Research*, 50, 135-148.
- Green, R. L., Hutsler, J. J., Loftus, W. C., Tramo, M. J., Thomas, C. E., Silberfarb, A.W., Gazzaniga, M. S. (1999). The caudal infrasyllabic surface in dyslexia. *Neurology*, 53, (5), 974-981.
- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia: An overview and working hypothesis. *Brain*, 123, 2373-2399.
- Habib, M., & Robichon, F. (2003). Structural correlates of brain asymmetry: Studies in left-handed and dyslexic individuals. In K. Hugdahl & R. J. Davidson (Eds.), *The Asymmetrical Brain* (pp. 681-716). Cambridge, MA: MIT.
- Heim, S., Tschierse, J., Amunts, K., Wilms, M., Vossel, S., Willmes, K., Grabowska, A., & Huber, W.

- (2008). Cognitive subtypes of dyslexia. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, 68 (1), 73-82.
- Hellige, J. B. (1993). *Hemispheric asymmetry: What's right and what's left*. Harvard University Press, Cambridge.
- Hinshelwood, J. (1896). A case of dyslexia: A peculiar form of word-blindness. *Lancet*, 2, 1451-1454.
- In Anderson, P., L., & Meier – Hedde, R. (2001). Early case reports of dyslexia in the United States and Europe. *Journal of Learning Disabilities*, 34 (1), 9-21.
- Hiscock, M. (1998). Brain lateralization across the life span. In B. Stemmer & H. A. Whitaker (Eds.), *Handbook of neurolinguistics* (pp. 357-368). San Diego: Academic Press.
- Hoefl, F., Meyler, A., Hernandez, A., Juel, C., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., ... Gabrieli, J. D. E. (2007). Functional and morphometric brain dissociation between dyslexia and reading ability. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 4234-4239.
- Houde, O., Rossi, S., Lubin, A., & Joliot, M. (2010). Mapping numerical processing, reading, and executive functions in the developing brain: An fMRI meta-analysis of 52 studies including 842 children. *Developmental Science*, 13 (6), 876-885.
- Hynd, G. W., Hall, J., Novey, E., Eliopoulos, D., Biack, K., Gonzalez, J., ... Cohen, M. (1995). Dyslexia and corpus callosum morphology. *Archives of Neurology*, 52, 32-38.
- Illingworth, S., & Bishop, D.V.M. (2009). Atypical cerebral lateralisation in adults with compensated developmental dyslexia demonstrated using functional transcranial Doppler ultrasound. *Brain and Language*, 111, 61-65.
- Klingenberg, T., Hedenus, M., Temple, E., Salz, T., Gabrieli, J. D., Moseley, M. E., & Poldrack, R. A. (2000). Microstructure of temporo-parietal white matter as a basis for reading ability: Evidence from diffusion tensor magnetic resonance imaging. *Neuron*, 25, 493-500.
- Knecht, S., Deppe, M., Ebner, A., Henningsen, H., Huber, T., Jokeit, H., & Ringelstein, E. B. (1998). Non-invasive determination of language lateralization by functional transcranial Doppler sonography: A comparison with the Wada test. *Stroke*, 29(1), 82-86.
- Kral, M., Nielson, K., & Hynd, G. W. (1998). Historical conceptualization of developmental dyslexia: Neurolinguistic contributions from the 19th and early 20th centuries. In: R. Licht, A. Bouma, W. Slot, & W. Koops (Eds.), *Child neuropsychology* (pp. 1-16). Delft, Netherlands: Eburon Publishing.
- Κουφάκη, Α. (2014). *Διερεύνηση αναπτυξιακών μηχανισμών λειτουργικής ασυμμετρίας με τη μέθοδο του διακρανιακού υπέρηχου Doppler σε μαθητές με ειδική διαταραχή της ανάγνωσης, δυσλεξία*. Διδακτορική διατριβή, Παιδαγωγικό Τμήμα Δημοτικής Εκπαίδευσης, Αθήνα.
- Κουφάκη, Α. & Παπαδάτου-Παστού, Μ. (2011). Μετα-ανάλυση: Δυσλεξία και προτίμηση χεριού. Στα πρακτικά του 2ου Πανελληνίου Συνεδρίου Επισημημών Εκπαίδευσης. Μάιος 27-30, 2010. Αθήνα: Κισσός.
- Larsen, J., Høien, T., & Odegaard, H. (1992). Magnetic resonance imaging of the corpus callosum in developmental dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 9 (2), 122-134.
- Larsen, J., Høien, T., Lundberg, I., & Odegaard, H. (1990). MRI evaluation of the size and symmetry of the planum temporal in adolescents with developmental dyslexia. *Brain and Language*, 39, 289-301.
- Leonard, C. M., & Eckert, M. A. (2008). Asymmetry and dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 33, 663-681.
- Leonard, C. M., Eckert, M. A., Lombardino, L. J., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C. ... Freeman, A. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex*, 11, 148-157.
- Leonard, C. M., Lombardino, L. J., Mercado, L. R., Browd, S. R., Breier, J. I., & Agee, O. F. (1996). Cerebral asymmetry and cognitive development in children: A magnetic resonance imaging study. *Psychological Science*, 7, 79-85.
- Leonard, C. M., Voeller, K. S., Lombardino, L. J., Morris, M. K., Alexander, A. W., Andersen, H. G., ... Staab, E. V. (1993). Anomalous cerebral structure in dyslexia revealed with magnetic resonance imaging. *Archives of Neurology*, 50, 461-469.
- Luria, A. R. (1973). *The working brain*. New York: Basic Books.
- Maisog, J. M., Einbinder, E. R., Flowers, D. L., Turkeltaub, P. E., & Eden, G. F. (2008). A meta-analysis of functional neuroimaging studies of dyslexia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1145 (1), 237-259.
- McManus, I. C., & Bryden, M. P. (1993). The neuro-

- biology of handedness, language, and cerebral dominance: A model for the molecular genetics of behavior. In M. H. Johnson (Ed.), *Brain development and cognition: A reader* (pp. 679-702). Oxford UK & Cambridge USA Blackwell Publishers.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: The cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24 (9), 508-511.
- Orton, S. T. (1925). "Word-Blindness" in School Children. *Archives of Neurology and Psychiatry*, 14, 581-615.
- Orton, S. T. (1937). *Reading, writing and speech problems in children*. New York: W. W. Norton and Co Inc.
- Papanicolaou, A. C., Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Francis, D., ... Davis, R. N. (2003). Brain mechanisms for reading in children with and without dyslexia: A review of studies of normal development and plasticity. *Developmental Neuropsychology*, 24 (2 & 3), 593-612.
- Paulesu, E., Danelli, L., & Berlinger, M. (2014). Reading the dyslexic brain: Multiple dysfunctional routes revealed by a new meta-analysis of PET and fMRI activation studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 830.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., Cappa, S. F., Cossu, G., Habib, M., Frith, C. D., & Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, 291, 2165-2167.
- Paulesu, E., Demonet, J. F., Fazio, F., McCrory, E., Chanoine, V., Brunswick, N., ... Frith, U. (2001). Dyslexia: Cultural diversity and biological unity. *Science*, 291, 2165-2167.
- Paulesu, E., Frith, U., Snowling M., Gallagher, A., Morton, J., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (1996). Is developmental dyslexia a disconnection syndrome? Evidence from PET scanning. *Brain*, 119, 143-157.
- Pennington, B. (2006). From single to multiple deficit models of developmental disorders. *Cognition*, 101, 385-413.
- Pennington, B. (2009). *Diagnosing learning disorders: A neuropsychological framework* (2nd ed.). Guilford Press, New York.
- Peterson, R. L., & Pennington, B. F. (2012). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 379, 1997-2007.
- Price, C. J. (2012). A review and synthesis of the first 20 years of PET and fMRI studies of heard speech, spoken language and reading. *Neuroimage*, 62(2), 816-847.
- Price, C. J., & McCrory, E. (2005). Functional brain imaging studies of skilled reading and developmental dyslexia. In *The science of reading: A handbook*, ed. M.J. Snowling and C. Hulme, 473-96. Oxford: Blackwell.
- Pugh, K. R., Mencl, E., Jenner, A.R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., ... Shaywitz, B. A. (2000). Functional neuroimaging studies of reading and reading disability (developmental dyslexia). *Mental retardation and developmental disabilities research reviews*, 6, 207-213.
- Pugh, K. R., Mencl, E., Jenner, A.R., Katz, L., Frost, S. J., Lee, J. R., ... Shaywitz, B. A. (2001). Neurobiological studies of reading and reading disability. *Journal of Communication Disorders*, 34, 479-492.
- Παπαδάτου-Παστού, Μ., Κουφάκη, Α., Ράντου, Ν., & Τόμπρου, Δ. (2013). Λειτουργικός διακρανιακός υπέρηχος Doppler: Αρχές λειτουργίας και εφαρμογές. *Hellenic Journal of Psychology*, 10, (1), 61-77.
- Πόρποδας, Κ. (2002). *Η ανάγνωση*. Πάτρα, Αυτοέκδοση.
- Πρωτόπαπας, Α. (2010). Η διαφάνεια του Ελληνικού ορθογραφικού συστήματος. Στο Μουζάκη, Α., & Πρωτόπαπας, Α. *Ορθογραφία. Μάθηση και Διαταραχές*. Gutenberg, Ψυχολογία.
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: Specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13, 212-218.
- Raschle, N. M., Chang, M., & Gaab, N. (2011). Structural brain alterations associated with dyslexia predate reading onset. *Neuroimage*, 57, 742-749.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2013). Structural abnormalities in the dyslexic brain: A meta-analysis of voxel-based morphometry studies. *Human Brain Mapping*, 34, 3055-3065.
- Robichon, F., Lévrier, O., Farnarier, P., & Habib, M. (2000). Developmental dyslexia: Atypical cortical asymmetries and functional significance. *European Journal of Neurology*, 7(1), 35-46.
- Rumsey, J. M., Andreason, P., Zametkin, A., Aquino, T., King, C., Hamburger, S., ... Cohen, R. (1992). Failure to activate the left temporoparietal cortex in dyslexia. *Archives of Neurology*, 49, 527-534.
- Salmelin, R. E., Kiesila, P., Uutela, K., Service, P., & Sa-

- Ionen, O. (1996). Impaired visual word processing in dyslexia revealed with magnetoencephalography. *Annals of Neurology*, 40(2), 157-162.
- Schultz, R. T., Cho, N. K., Staib, L. H., Kier, L. E., Fletcher, J. M., Shaywitz, S. E., Shankweiler, D. P., Shaywitz, B. A. (1994). Brain morphology in normal and dyslexic children: The influence of sex and age. *Annals of Neurology*, 35, 732-739.
- Shaywitz, B. A. Skudlarski, P. Holahan, J. M. Marchione, K. E. Constable, R. T., Fulbright, R. K., ... Shaywitz, S. E. (2007). Age-related changes in reading systems of dyslexic children, *Annals of Neurology*, 61, 363-370.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., ... Gore, J. C. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52 (2), 101-110.
- Shaywitz, S. E. (1998). Dyslexia. *The New England Journal of Medicine (NEJM)*, 338, 307-312.
- Shaywitz, S. E. (2003). *Overcoming dyslexia: A new and complete science-based program for reading problems at any level*. New York: Alfred A. Knopf.
- Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2008). Paying attention to reading: The neurobiology of reading and dyslexia. *Development and Psychopathology*, 20, 1329-1349.
- Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Pugh, K. R., Fulbright, R. K., Constable, R. T., Mencl, W. E., ... Gore, J. C. (1998). Functional disruption in the organization of the brain for reading in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 2636-2641.
- Shaywitz, S., Shaywitz, B., Fulbright, R., Skudlarski, P., Mencl, W., Constable, T., ... Gore, J. C. (2003). Neural systems for compensation and persistence: Young adult outcome of childhood reading disability. *Biological Psychiatry*, 54, 25-33.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Bergman, E., & Papanicolaou, A. C. (2000b). Cerebral mechanisms involved in word reading in dyslexic children: A magnetic source imaging approach. *Cerebral Cortex*, 10, 809-816.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Fletcher, J. M., Foorman, B. R., Bergman, E., Fishbeck, K., & Papanicolaou, A. C. (2000a). Brain activation profiles in dyslexic children during non-word reading: A magnetic source imaging study. *Neuroscience Letters*, 290, 61-65.
- Simos, P. G., Breier, J. I., Wheless, J. W., Maggio, W. W., Fletcher, J. M., Castillo, E. M., & Papanicolaou, A. C. (2000c). Brain mechanisms for reading: The role of the superior temporal gyrus in word and pseudoword naming. *NeuroReport*, 11, 2443-2447.
- Snowling, M. (2008). Specific disorders and broader phenotypes: The case of dyslexia. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61, 142-156.
- Snowling, M. (2000). *Dyslexia: A cognitive developmental perspective*. (2nd ed.) Oxford, UK: Blackwell.
- Springer, S. P., & Deutsch, G. (1989). *Left brain, right brain*. New York: W. H. Freeman & Company.
- Stanovich, K. E., & Siegel, L. S. (1994). Phenotypic performance profile of children with reading disabilities: A regression-based test of the phonological-core variable-difference model. *Journal of Educational Psychology*, 86, 24-53.
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7, 12-36.
- Steinbrink, C., Vogt, K., Kastrup, A., Muller, H. P., Juengling, F. D., Kassubek, J., & Riecker, A., (2008). The contribution of white and gray matter differences to developmental dyslexia: Insights from DTI and VBM at 3.0 T. *Neuropsychologia*, 46, 3170-3178.
- Σίμος, Π., Μουζάκη, Α., & Παπανικολάου, Α. (2004). Η λειτουργία της ανάγνωσης και οι διαταραχές της: Η συμβολή μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου. *Hellenic Journal of Psychology*, 1, 56-79.
- Temple, E. (2002). Brain mechanisms in normal and dyslexic readers. *Current Opinion in Neurobiology*, 12, 178-183.
- Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. E. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: An fMRI study. *NeuroReport*, 12, 299-307.
- Vellutino, F. R. (1979). *Dyslexia: Research and theory*. Cambridge (MA): MIT Press.
- Vlachos, F., Avramidis, E., Dedousis, G., Chalme, M., Ntalla, I., & Giannakopoulou, M. (2013). Prevalence and gender ratio of dyslexia in Greek adolescents and its association with parental history and brain injury. *American Journal of Educational Research*, 1(1), 22-25.

- Watkins, K. E., Paus, T., Lerch, J. P., Zijdenbos, A., Collins, D. L., Neelin, P., ... Evans, A. C. (2001). Structural asymmetries in the human brain: A voxel-based statistical analysis of 142 MRI scans. *Cerebral Cortex*, 11, 868-877.
- World Health Organization, (1993). *The International Classification of Diseases*. Geneva: World Health Organization.
- Xu, M., Yang, J., Siok, W. T., & Tan, L. H. (2015). Atypical lateralization of phonological working memory in developmental dyslexia. *Journal of Neurolinguistics*, 33, 67-77.

## Dyslexia and brain asymmetry: A review of studies using anatomical and functional brain imaging

ANGELIKI KOUFAKI<sup>1</sup>

MARIETTA PAPANATOU-PASTOU<sup>1</sup>

### ABSTRACT

Developmental dyslexia is a learning disorder that is marked by reading achievement that falls substantially below that expected given the individual's chronological age, measured intelligence, and age-appropriate education (ICD-10, WHO, 1993). It is estimated to affect 5-17% of the student population. It is a disorder that is neurological in nature (Habib, 2000. Σίμος, Μουζάκη, & Παπανικολάου, 2004), but which requires educational intervention. Recently, there has been considerable progress in the investigation of the neurobiological underpinnings of dyslexia. Yet, even today Orton's 1925 hypothesis, postulating that individuals with dyslexia have not adequately developed the typical left cerebral lateralization for language and are symmetrical or right-hemispheric dominant for language, remains timely and is under investigation. The present narrative review presents research studies that have investigated the inadequate lateralization hypothesis using anatomical and functional brain imaging. Findings show, for the largest part, that individuals with dyslexia do indeed show anatomical and functional differences in the language networks of the left hemisphere, compared to typical readers. In conclusion, inadequate lateralization is an important neurobiological factor for the development of dyslexia, albeit it is not the only one.

*Keywords:* Dyslexia, Cerebral asymmetry, Brain asymmetry, Hemispheric specialization, Hemispheric dominance, Lateralization, Special reading disability.

1. Address: Research Centre for Psychophysiology and Education, School of Education, National and Kapodistrian University of Athens, 27 Deinokratous Str, 106 75, Athens, Greece. E-mail: mpapadatou@primedu.uoa.gr, Tel: 210 3641712