



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ – ΚΛΙΝΙΚΟΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**Η συμβολή της μεγαλοκυτταρικής θεωρίας στη διερεύνηση
της δυσλεξίας. Αξιολόγηση του μουσικού παράγοντα κατά
την εφαρμογή EEG.**

**ΠΑΥΛΟΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΙΔΗΣ
ΨΥΧΟΛΟΓΟΣ, MSc**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2021



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΙΑΤΡΙΚΗΣ**

**ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΣ – ΚΛΙΝΙΚΟΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΤΟΜΕΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑΣ**

ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

**Η συμβολή της μεγαλοκυτταρικής θεωρίας στη διερεύνηση
της δυσλεξίας. Αξιολόγηση του μουσικού παράγοντα κατά
την εφαρμογή EEG.**

**ΠΑΥΛΟΣ ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΙΔΗΣ
ΨΥΧΟΛΟΓΟΣ, MSc**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΙΩΑΝΝΙΝΑ 2021

«Η έγκριση της διδακτορικής διατριβής από το Τμήμα Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων δεν υποδηλώνει αποδοχή των γνώμων του συγγραφέα Ν. 5343/32, άρθρο 202, παράγραφος 2 (νομική κατοχύρωση του Ιατρικού Τμήματος)».

Ημερομηνία αίτησης του κου Χριστοδουλίδη Παύλου: 15-9-2016

Ημερομηνία ορισμού Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής: 791^α/1-11-2016

Μέλη Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής:

Επιβλέπων:

Πέσχος Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής Φυσιολογίας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Μέλη:

Ευαγγέλου Άγγελος, Ομότιμος Καθηγητής Φυσιολογίας Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Ζακοπούλου Βικτωρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια Λογοθεραπείας, ΤΕΙ Ηπείρου

Ημερομηνία ορισμού θέματος: 16-3-2017

«Η συμβολή της μεγαλοκυτταρικής θεωρίας στη διερεύνηση της δυσλεξίας. Αξιολόγηση του μουσικού παράγοντα κατά την εφαρμογή EEG»

ΟΡΙΣΜΟΣ ΕΠΤΑΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ 906^α/25-11-2019

1. Ευαγγέλου Άγγελος, Ομότιμος Καθηγητής Φυσιολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
2. Ζακοπούλου Βικτωρία, Αναπληρώτρια Καθηγήτρια στις Μαθησιακές δυσκολίες με ειδίκευση στην ειδική αναπτυξιακή δυσλεξία του Τμήματος Λογοθεραπείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
3. Μπαλτογιάννης Δημήτριος, Αναπληρωτής Καθηγητής Ουρολογίας του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
4. Πέσχος Δημήτριος, Καθηγητής Φυσιολογίας με έμφαση στην Κυτταρική Φυσιολογία του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
5. Ράγκος Βασίλειος, Αναπληρωτής Καθηγητής Γναθοπροσωπικής του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
6. Ντουνούση Ευαγγελία, Επίκουρη Καθηγήτρια Νεφρολογίας με έμφαση στις Μεταμοσχεύσεις του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων
7. Τζάλλας Αλέξανδρος, Επίκουρος Καθηγητής Βιοϊατρικής Τεχνολογίας με έμφαση στην Επεξεργασία και Ανάλυση Βιοϊατρικών Δεδομένων του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων

Έγκριση Διδακτορικής Διατριβής με βαθμό «ΑΡΙΣΤΑ» στις 21-04-2021

Ιωάννινα 18-5-2021

ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΙΑΤΡΙΚΗΣ

Άννα Μπατιστάτου

Καθηγήτρια Παθολογικής Ανατομίας

Η Γραμματέας του Τμήματος



ΜΑΡΙΑ ΚΑΠΙΤΟΠΟΥΛΟΥ





Handwritten text in the top left corner, possibly a date or reference number.

Handwritten line of text across the middle of the page.

Several lines of handwritten text in the middle section of the document.

Handwritten text block in the lower middle section.

Handwritten text line in the lower middle section.

Handwritten text block in the lower section.

Handwritten text line in the lower section.

Handwritten text block in the lower section.

Handwritten text line in the lower section.

Handwritten text line in the lower section.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ένα πολύ (μα πάρα πολύ) μακρύ ταξίδι έφτασε στο τέλος του. Οι προκλήσεις συνεχείς, οι δυσκολίες αρκετές και η εγκατάλειψη προ των πυλών, αλλά κάθε φορά αντιμετωπίζονταν χάριν στους αγαπημένους συνοδοιπόρους μου, οι οποίοι με εμπιστεύτηκαν, με στήριζαν και μου άνοιγαν το δρόμο.

Αρχικά, λοιπόν, θέλω να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου τον επιβλέποντά μου, κο. Δημήτριο Πέσχο, Καθηγητή του Τμήματος Ιατρικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, ο οποίος από την πρώτη στιγμή με ενεθάρρυνε να επανεκκινήσω την προσπάθεια ολοκλήρωσης διδακτορικής διατριβής. Η επιστημονική του κατάρτιση, καθώς και ο μοναδικός του τρόπος να με βοηθάει να ξεπερνάμε όλα τα εμπόδια που ανέκυπταν κάθε φορά, συνέβαλαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της διατριβής.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στην κα. Βικτωρία Ζακοπούλου, Αν. Καθηγήτρια του Τμήματος Λογοθεραπείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων, η οποία πίστεψε σε μένα και ήταν συνεχώς κοντά μου σε κάθε μου βήμα, φόβο και προβληματισμό. Τρέφω απεριόριστη εκτίμηση τόσο στο αξιοσέβαστο επιστημονικό της έργο, όσο και στην ποιότητα Ανθρώπου που η ίδια έχει και είναι. Με σταθερά βήματα, αρχίζει να αποκτά «σάρκα και οστά» το μεγαλεπήβολο σχέδιο (μας) προς μία πολυπαραγοντική θεώρηση των μαθησιακών δυσκολιών σε διάφορες ηλικιακές ομάδες, τη στιγμή μάλιστα που στην Ελλάδα η συγκεκριμένη πρακτική βρίσκεται σε πολύ πρώιμο επίπεδο.

Η προσπάθεια αυτή δεν θα είχε ολοκληρωθεί χωρίς τη σημαντική συμβολή των υπολοίπων καθηγητών της Επταμελούς Εξεταστικής Επιτροπής, και ιδιαιτέρως του κου. Άγγελου Ευαγγέλου και κου. Αλέξανδρου Τζάλλα, οι οποίοι με τις πολύτιμες συμβουλές τους με βοήθησαν ουσιαστικά στην περάτωση της διατριβής.

Η έρευνα αυτή δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί χωρίς τη συμμετοχή των ίδιων των φοιτητών, οι οποίοι εκδήλωσαν ενδιαφέρον και συμμετείχαν εθελοντικά σε όλη αυτήν την πειραματική διαδικασία, συνειδητοποιώντας από τα φοιτητικά τους χρόνια το ρόλο που διαδραματίζει η κάθε είδους έρευνα στην εξέλιξη της επιστήμης. Επίσης, σημαντικότερη ήταν η βοήθεια και υποστήριξη των αγαπητών συναδέλφων και φίλων μου, Κατερίνας

(πολύτιμη συνεργάτης και όχι μόνο στην καταγραφή EEG), Μαρίας (ποτέ δεν είναι αργά να ολοκληρώσει κανείς μία διατριβή), Αφροδίτης και Παναγιώτη (συνοδοιπόροι από την αρχή του εγχειρήματος), Θοδωρή και Μαρίας (η ενθάρρυνσή τους καθοριστική), Αναστασίας (κάθε εμπόδιο για καλό), Χρήστου (η στήριξή του συνεχής), Φώτη (οι δυσκολίες δυναμώνουν τον άνθρωπο, το πιστεύω), Μάρκου (πάντα εύστοχες οι παρατηρήσεις του), Γιώργου (ειδικότητα τα στατιστικά), Λέανδρου (κατασκευαστής του λογισμικού), και τόσων άλλων, οι οποίοι λιγότερο ή περισσότερο με βοήθησαν να σηκώνομαι κάθε φορά που έπεφτα.

Ακόμη, θα ήθελα να εκφράσω τις ιδιαίτερες ευχαριστίες μου στην πρώτη επιβλέπουσα Sue Hallam, καθηγήτρια στο Institute of Education, University of London, η οποία με ενέπνευσε και με καθοδήγησε στα πρώτα μου δειλά ερευνητικά βήματα στο Λονδίνο (πριν αρκετά χρόνια!!) και δεν έπαψε ποτέ να με ενθαρρύνει στην ολοκλήρωση της πρώτης απόπειρας. Πραγματικά, ήταν και είναι τιμή μου που γνώρισα αυτόν τον άνθρωπο.

Οπωσδήποτε, θέλω να εκφράσω τη βαθιά μου ευγνωμοσύνη στους αγαπημένους μου γονείς, εξ αίματος και εξ αγχιστείας, είτε βρίσκονται εν ζωή είτε παρακολουθεί «από ψηλά», πάντα παρόντες και δίπλα μου στη ζωή, και να τους ευχαριστήσω για ό,τι μου έχουν προσφέρει μέχρι και σήμερα. Θα ήθελα, ακόμη, να ευχαριστήσω τα αδέρφια μου και ιδιαίτερα τον Τάσο για την επιμέλεια τόσο στο μορφολογικό όσο και στο αισθητικό κομμάτι της διατριβής.

Η αρχή, η μέση, το τέλος και κάθε στιγμή της διαδρομής αυτής ανήκουν στην Ελευθερία, σύζυγο, σύντροφο, συνοδοιπόρο, η οποία στάθηκε δίπλα μου, ανοίγοντας μια μεγάλη αγκαλιά, στηρίζοντας την προσπάθειά μου, δείχνοντας εμπιστοσύνη στο πρόσωπό μου και δημιουργώντας ένα περιβάλλον απεριόριστης αγάπης. Μαζί, και ο μικρός, τώρα μεγάλος γιος μας Άλκης, κινητήριος δύναμη της ζωής μας, ο οποίος κατάλαβε όλα αυτά τα χρόνια ότι «τα αγαθά κόποις κτώνται...».

Τέλος καί τῷ Θεῷ δόξα!!!

Αφιερωμένη

στους δύο θησαυρούς της ζωής μου

Ελευθερία & Αλκιβιάδη

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΕΙΚΟΝΕΣ.....	7
ΠΙΝΑΚΕΣ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ – ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΔΥΣΛΕΞΙΑ	15
1.1 Εννοιολογική προσέγγιση των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών	15
1.2 Ειδική Αναπτυξιακή Δυσλεξία (ΕΑΔ)	23
1.3 Ερμηνευτικές θεωρίες της ΕΑΔ	28
1.3.1 Η θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος.....	30
1.3.2 Η θεωρία του διπλού ελλείμματος.....	32
1.3.3 Η μεγαλοκυτταρική θεωρία.....	35
1.3.4 Η θεωρία της παρεγκεφαλίδας	41
1.4 Η ΕΑΔ στον ενήλικο πληθυσμό.....	45
1.4.1 Τα βασικά ελλείμματα δυσλεξίας που επιμένουν στον ενήλικο πληθυσμό.....	48
1.4.2 Μια εξήγηση για τα ελλείμματα αναγνωστικής κατανόησης	49
1.4.3 Οι δυσκολίες στη διαχείριση ακαδημαϊκού κειμένου.....	51
1.4.4 Η επιμονή των ελλειμμάτων κατανόησης στους ενήλικες με δυσλεξία	52
1.4.5 Τα κοινωνικο-συναισθηματικά ζητήματα σε ενήλικες με δυσλεξία	54
1.5 Διαγνωστικές προσεγγίσεις – Διαγνωστικά εργαλεία δυσλεξίας στους ενήλικες	56
1.5.1 Η επίδραση του μουσικού παράγοντα στην αναγνωστική διαδικασία	60
1.5.2 Η επίδραση του μουσικού παράγοντα στην αναγνωστική διαδικασία σε άτομα με δυσλεξία.....	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ της ΕΑΔ.....	69
2.1 Γενετικές μελέτες της ΕΑΔ	69
2.2 Νευροφυσιολογικές μελέτες της ΕΑΔ	71
2.3 Δομικές και λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μελέτες.....	73
2.3.1 Δομικές νευροαπεικονιστικές μελέτες.....	73
2.3.2 Λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μελέτες.....	74
2.4 Ο ρόλος του Electroencephalograph (EEG) στη διάγνωση της ΕΑΔ	76
2.4.1 Ρυθμοί εγκεφαλογραφήματος/ συχνότητες κυμάτων εγκεφάλου	77
2.5 Μορφές προσέγγισης μέσω EEG καταγραφών	80
2.6 Ακουστική/Φωνολογική αντίληψη και καταγραφή EEG σημάτων	83
2.7 Μουσική και καταγραφή EEG σημάτων.....	85
2.7.1 Νευροφυσιολογία γλωσσικών στοιχείων και μουσικής αντίληψης.....	85
2.7.2 Ο ρόλος της μουσικής στην καταγραφή EEG σημάτων.....	86
2.8 Η χρήση Computer Interface Device στην καταγραφή EEG σημάτων	90
ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	92
3.1 Στοχοθεσία	92
3.2 Ερευνητικές υποθέσεις- ερωτήματα.....	93

3.3	Ερευνητικός Σχεδιασμός	93
3.4	Δειγματοληψία	95
3.5	Λογισμικό.....	97
3.6	Πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας	98
3.7	Φωνολογικά Κριτήρια	99
3.8	Καταγραφή Δεδομένων.....	103
3.9	Επεξεργασία EEG σημάτων	105
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....		107
4.1	Στατιστική Ανάλυση.....	107
4.2	Ταξινόμηση Δείγματος	107
4.3	Συσχέτιση Εγκεφαλικών ρυθμών και Περιοχών ανά Πειραματική Συνθήκη	113
4.4	Συσχέτιση Εγκεφαλικών ρυθμών και Περιοχών στις Πειραματικές Συνθήκες στην Ομάδα Δυσλεξίας	119
4.5	Επιδόσεις στις δοκιμασίες εξέτασης ανά Πειραματική Συνθήκη.....	121
4.6	Συσχέτιση Περιοχής Ενδιαφέροντος και επιδόσεων στις δοκιμασίες εξέτασης ανά Πειραματική Συνθήκη 122	
4.7	Συσχέτιση Επίδοση στην Φωνολογική Ενημερότητα στις Πειραματικές Συνθήκες στην Ομάδα Δυσλεξίας 124	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....		126
5.1	Εισαγωγή στη Συζήτηση	126
5.1.1	Ταξινόμηση του δείγματος	128
5.1.2	1 ^η πειραματική συνθήκη – Ακουστική διάκριση	129
5.1.3	2 ^η πειραματική συνθήκη – Οπτική Αναγνώριση	131
5.1.4	3 ^η πειραματική συνθήκη – Οπτική Αναγνώριση με παρουσία μουσικής υπόκρουσης	133
5.1.5	Σύγκριση πειραματικών συνθηκών ως προς την ενεργοποίηση ρυθμών και επιδόσεων στις δοκιμασίες.....	135
5.2	Περιορισμοί της έρευνας	137
5.3	Γενική Συζήτηση.....	138
ΠΕΡΙΛΗΨΗ		141
ABSTRACT		143
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		145
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....		206

ΕΙΚΟΝΕΣ

- Εικόνα 1. Οι μεγαλοκυτταρικές στιβάδες και μικροκυτταρικές στιβάδες ενός ατόμου χωρίς δυσλεξία (αριστερά) και ενός ατόμου με δυσλεξία (δεξιά)
- Εικόνα 2. Συσχετισμοί μεταξύ υποδιαίρέσεων δυσλεξίας και σημαντικών συνοχών EEG στις διάφορες ζώνες ΗΕΓ
- Εικόνα 3. Ασύρματη φορητή συσκευή 14-ηλεκτροδίων Emotiv EPOC+
- Εικόνα 4. Περιοχές ενδιαφέροντος σύμφωνα με τις θέσεις ηλεκτροδίων.

ΠΙΝΑΚΕΣ

- Πίνακας 1. Αντιστοίχιση στις Υποζώνες ενδιαφέροντος και στους εγκεφαλικούς ρυθμούς
- Πίνακας 2. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών σε όλες τις πειραματικές συνθήκες
- Πίνακας 3. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην ακουστική διάκριση
- Πίνακας 4. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην οπτική αναγνώριση
- Πίνακας 5. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση
- Πίνακας 6. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην ακουστική διάκριση
- Πίνακας 7. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην ακουστική διάκριση (2)
- Πίνακας 8. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση
- Πίνακας 9. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση (2)
- Πίνακας 10. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση
- Πίνακας 11. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση (2)
- Πίνακας 12. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας
- Πίνακας 13. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας (2)
- Πίνακας 14. Επιδόσεις στις δοκιμασίες εξέτασης ανά πειραματική συνθήκη

- Πίνακας 15. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην ακουστική διάκριση ανά ΠΕ
- Πίνακας 16. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην οπτική αναγνώριση ανά ΠΕ
- Πίνακας 17. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση ανά ΠΕ
- Πίνακας 18. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας
- Πίνακας 19. Αναπαράσταση των πιο πρόσφατων μελετών με καταγραφή EEG σε άτομα με δυσλεξία

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η δυσλεξία είναι μια από τις πιο συχνές ειδικές μαθησιακές διαταραχές που επηρεάζουν περισσότερο από το 15% του πληθυσμού παιδιών σχολικής ηλικίας. Συχνά έχει συσχετιστεί με ελλείμματα στη φωνολογική ενημερότητα που προκαλούνται κυρίως από ακουστικές και οπτικές αδυναμίες στη διάκριση και αναγνώριση φωνημάτων και γραφημάτων, αντίστοιχα.

Βασική θεωρητική προσέγγιση που προσπαθεί να ερμηνεύσει την αιτιολογία εμφάνισης της συγκεκριμένης μαθησιακής δυσκολίας είναι η θεωρία του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος, η οποία αποτελεί τη βασική πηγή διερεύνησης και ανάλυσης της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Η συγκεκριμένη προσέγγιση παρέχει μια εναλλακτική μέθοδο για την εξήγηση των ελλειμμάτων ακουστικής και οπτικής επεξεργασίας, και αποτελεί μια θεωρία ενοποίησης τόσο της υπόθεσης της παρεγκεφαλιδικής μειονεξίας, όσο και των υποθέσεων της οπτικής ή ακουστικής μειονεξίας ή αλλιώς μια γενίκευση της οπτικής θεωρίας. Με βάση αυτή, μια γενική αισθητηριακή μεγαλοκυτταρική ανωμαλία η οποία οδηγεί σε δυσκολίες στην επεξεργασία αισθητηριακών πληροφοριών, έχει ως αποτέλεσμα να διαταράσσεται η φυσιολογική μάθηση και επεξεργασία της γλώσσας οδηγώντας σε μαθησιακές δυσκολίες.

Στην προσπάθεια διερεύνησης των αιτιών αλλά και των παραγόντων που ενδεχομένως να συμβάλλουν στην αντιστάθμιση των ελλειμμάτων, έρχεται να προστεθεί και η παρουσία μουσικού ερεθίσματος καθώς έχει βρεθεί ότι η μουσική μπορεί να λειτουργήσει υποστηρικτικά στην εκτέλεση γνωστικών δοκιμασιών, αφού υπάρχουν κοινές υποκείμενες γνωστικές διεργασίες μεταξύ της μουσικής και της γλώσσας, και ειδικότερα μεταξύ μουσικής αντίληψης και αντίληψης λόγου.

Αν και αποτελεί γενική παραδοχή πως αυτά τα ελλείμματα εξακολουθούν να υφίστανται και κατά την ενηλικίωση, οι μελέτες σε ενήλικες με δυσλεξία είναι ελάχιστες σε σύγκριση με τις μελέτες σε παιδιά με δυσλεξία. Επομένως, μία μελέτη σχετική σε ενήλικες με δυσλεξία μπορεί να αποτελέσει ένα πολύτιμο εργαλείο για την περαιτέρω κατανόηση του τρόπου που εκδηλώνεται η δυσλεξία μακροπρόθεσμα.

Η μεγαλοκυτταρική υπόθεση έχει εξεταστεί με τη χρήση ποικίλων νευροαπεικονιστικών τεχνικών όπως MRI, PET, προκλητά δυναμικά και Ηλεκτροεγκεφαλογράφημα (EEG) προκειμένου να αξιολογηθούν οι ημισφαιρικές διαφορές στην ενεργοποίηση του εγκεφάλου μεταξύ ατόμων με δυσλεξία. Στη συγκεκριμένη μελέτη επιλέχθηκε η καταγραφή σημάτων EEG μέσω μίας μη-επεμβατικής τεχνικής μέτρησης της νευρωνικής δραστηριότητας, με τη χρήση της ασύρματης συσκευής Emotiv EPOC+, αποτελούμενη από 14 αισθητήρες.

Έχοντας περιγράψει το θεωρητικό πλαίσιο και τις παραμέτρους που θα αναλυθούν, η παρούσα διατριβή στοχεύει να διερευνήσει τη συμβολή της μεγαλοκυτταρικής θεωρίας ως αιτιακού παράγοντα της δυσλεξίας σε ενήλικο πληθυσμό με την καταγραφή σημάτων EEG μέσω της συσκευής Emotiv EPOC+. Επιπρόσθετο στόχο αποτελεί η διερεύνηση της εγκεφαλικής λειτουργίας ενηλίκων με δυσλεξία κατά την αξιολόγηση δοκιμασιών φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας.

Για το σκοπό αυτό, το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 12 φοιτητές με δυσλεξία και 14 φοιτητές τυπικής ανάπτυξης οι οποίοι σπουδάζουν στη Σχολή Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν σε τρεις πειραματικές συνθήκες αξιολόγησης δοκιμασιών φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας, στο πλαίσιο ακουστικής διάκρισης, οπτικής αναγνώρισης, και οπτικής αναγνώρισης με ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος. Σε κάθε συνθήκη επιλέχθηκε γλωσσικό υλικό βασισμένο σε αυστηρά φωνολογικά και μορφολογικά κριτήρια, ενώ το μουσικό ερέθισμα αποτελούσε απόσπασμα από σονάτα του Mozart.

Αρχικά επιχειρήθηκε η ταξινόμηση του δείγματος μέσω εκπαίδευσης του ταξινομητή Τυχαίων Δασών στοχεύοντας στη διαμόρφωση προφίλ ατόμων με διακριτά χαρακτηριστικά δυσλεξίας από ομάδα ατόμων χωρίς χαρακτηριστικά δυσλεξίας. Κατεγράφησαν υψηλά ποσοστά Ακρίβειας ταξινόμησης σε όλες τις περιοχές ενδιαφέροντος, επιβεβαιώνοντας την ικανότητα επαρκούς καταγραφής των διαφορών στη δυναμική του εγκεφάλου μεταξύ ενηλίκων τυπικής ανάπτυξης και ατόμων με δυσλεξία.

Αναφορικά με την ανάλυση της ενεργοποίησης των εγκεφαλικών ρυθμών, επιβεβαιώνεται η ετερογένεια της ενεργοποίησης σε διαφορετικές περιοχές, καταδεικνύοντας την ασυμμετρία της δραστηριοποίησης εγκεφαλικών ρυθμών στα άτομα με δυσλεξία. Αυτή η ασυμμετρία

καθίσταται ακόμα πιο διακριτή κατά την εξέταση των τριών πειραματικών συνθηκών, όπου δραστηριοποιούνται περιοχές προκειμένου να αντισταθμιστούν ελλείμματα που αντιμετωπίζουν. Ιδιαίτερα σημαντικά θεωρούνται τα ευρήματα τα οποία φανερώνουν τη θετική επίδραση της μουσικής υπόκρουσης στην επίδοση της δοκιμασίας οπτικής αναγνώρισης λέξεων.

Μέσα από τα αποτελέσματα της έρευνας, όπου καταγράφεται ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των ελλειμάτων στον κροταφικό, βρεγματικό και ινιακό λοβό, αναδεικνύεται η αναγκαιότητα της πολυπαραγοντικής προσέγγισης της δυσλεξίας είτε σε επίπεδο διάγνωσης είτε σε επίπεδο παρέμβασης, ακόμη και σε ενήλικα άτομα με δυσλεξία, επιβεβαιώνοντας την κύρια ερμηνευτική θεωρητική αρχή της θεωρίας του μεγαλοκυτταρικού συστήματος.

Συμπερασματικά, γίνεται αντιληπτή η σπουδαιότητα της συγκεκριμένης έρευνας, της οποίας τα συμπεράσματα αναφορικά με την εύρεση νέων προσεγγίσεων και μεθόδων, δύνανται να βοηθήσουν στην περαιτέρω κατανόηση και βελτίωση των ελλειμμάτων που εμφανίζει ο συγκεκριμένος πληθυσμός ενηλίκων ατόμων σε ένα εύρος μαθησιακών δοκιμασιών.

Η διδακτορική διατριβή αποτελείται από πέντε κεφάλαια και τη βιβλιογραφία. Ειδικότερα στα δύο πρώτα κεφάλαια παρατίθεται το θεωρητικό πλαίσιο, πάνω στο οποίο στηρίχθηκε η υλοποίηση της έρευνας της παρούσας διατριβής και το οποίο περιλαμβάνει σύγχρονα ερευνητικά δεδομένα τόσο της ελληνικής, όσο και της διεθνούς βιβλιογραφίας, με απώτερο σκοπό την πληρέστερη κατανόηση του επιστημονικού αυτού γνωστικού πεδίου. Το ερευνητικό μέρος παρουσιάζεται στο τρίτο και τέταρτο κεφάλαιο, ενώ στο πέμπτο κεφάλαιο παρατίθεται η συζήτηση και τα συμπεράσματα της έρευνας.

Αναλυτικότερα, στο **πρώτο κεφάλαιο** επιχειρείται να χαρτογραφηθεί εννοιολογικά το πεδίο των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών και διεξοδικότερα η Ειδική Αναπτυξιακή Δυσλεξία (ΕΑΔ). Καταγράφονται οι θεωρίες που έχουν διατυπωθεί και υποστηριχθεί μέσα από ένα ευρύ ερευνητικό πλαίσιο, προσπαθώντας να ερμηνεύσουν αιτιολογικά την προέλευση και τα χαρακτηριστικά της δυσλεξίας. Στη συνέχεια, αναλύονται τα ελλείμματα δυσλεξίας που εξακολουθούν να υφίστανται κατά την ενήλικη ζωή, με τις κοινωνικό-συναισθηματικές συνέπειες στην καθημερινότητα των ενηλίκων. Τέλος, παρουσιάζονται τα βασικότερα

διαγνωστικά εργαλεία δυσλεξίας σε ενήλικο πληθυσμό, καθώς και η επίδραση του μουσικού παράγοντα στην αναγνωστική διαδικασία των ενηλίκων

Στο **δεύτερο κεφάλαιο** παρατίθενται επιστημονικά δεδομένα σχετικά με την νευρολογική βάση της δυσλεξίας, εξετάζοντας τη σύνδεση της δυσλεξίας με γενετικά δεδομένα, καθώς και την αποτύπωση των χαρακτηριστικών της δυσλεξίας μέσα από δομικές και λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μελέτες. Στη συνέχεια, αναλύεται ο διαγνωστικός ρόλος του Ηλεκτροεγκεφαλογραφήματος (EEG) στη δυσλεξία, και συσχετίζεται η καταγραφή σημάτων EEG με την ακουστική διάκριση, την οπτική αναγνώριση, καθώς και με την παρουσία μουσικού ερεθίσματος. Στο τέλος παρουσιάζονται μελέτες οι οποίες χρησιμοποίησαν Computer Interface Device στην καταγραφή EEG σημάτων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** περιγράφεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο ερευνητικός σχεδιασμός. Αναλυτικότερα, καταγράφεται η στοχοθεσία και τα ερευνητικά ερωτήματα, και παρουσιάζονται διεξοδικά οι φάσεις της ερευνητικής διαδικασίας. Αρχικά, περιγράφεται το δείγμα, όπου δίνονται πληροφορίες για τη συλλογή του, και περιγράφονται αναλυτικά οι πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας, οι οποίες αποτέλεσαν και τον κορμό της ερευνητικής προσπάθειας. Καταγράφονται εκτενώς τα αυστηρά φωνολογικά κριτήρια στα οποία βασίστηκε η επιλογή του γλωσσικού υλικού, και παρουσιάζεται ο τρόπος καταγραφής και η επεξεργασία των σημάτων EEG με τη χρήση της συσκευής Emotiv EPOC+.

Στο **τέταρτο κεφάλαιο** των αποτελεσμάτων, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της παρούσας διδακτορικής διατριβής. Πιο συγκεκριμένα, αναφέρεται η μέθοδος με την οποία αναλύθηκαν στατιστικώς όλα τα ερευνητικά δεδομένα. Στη συνέχεια, καταγράφονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης του δείγματος, καθώς και οι συσχετίσεις των εγκεφαλικών ρυθμών και περιοχών ανά πειραματική συνθήκη, δίνοντας ιδιαίτερη βαρύτητα στα αποτελέσματα της ομάδας των φοιτητών με δυσλεξία.

Στο **πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο** της παρούσας διδακτορικής διατριβής ακολουθεί η συζήτηση και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της έρευνας σε αντιστοιχία με τα υπάρχοντα ερευνητικά δεδομένα της βιβλιογραφίας που αφορούν στη μελέτη και ανασκόπηση του συγκεκριμένου επιστημονικού τομέα. Παράλληλα, γίνεται μια απόπειρα να ερμηνευθούν τα

αποτελέσματα της εκάστοτε πειραματικής συνθήκης στη βάση της θεωρητικής προσέγγισης του μεγαλοκυτταρικού συστήματος. Τέλος, παρατίθενται οι περιορισμοί της έρευνας για τη γενίκευση των αποτελεσμάτων, ενώ περιγράφεται η χρησιμότητα και οι εφαρμογές των αποτελεσμάτων της έρευνας στην περαιτέρω βελτίωση των ελλειμμάτων που εμφανίζει ο συγκεκριμένος ενήλικος πληθυσμός σε ένα εύρος μαθησιακών δοκιμασιών, ενώ παράλληλα αναδεικνύεται η αναγκαιότητα μιας πολυπαραγοντικής προσέγγισης της δυσλεξίας σε διεπιστημονικό επίπεδο.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΕΙΔΙΚΕΣ ΜΑΘΗΣΙΑΚΕΣ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ – ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗ ΔΥΣΛΕΞΙΑ

1.1 Εννοιολογική προσέγγιση των ειδικών μαθησιακών δυσκολιών

Το θέμα των μαθησιακών δυσκολιών βρίσκεται στο επίκεντρο του ενδιαφέροντος στις προηγμένες εκπαιδευτικά χώρες. Πρόκειται για ένα πολύπλοκο και πολυδιάστατο θέμα, το οποίο προσεγγίζεται από ερευνητές διαφόρων επιστημονικών πεδίων.

Οι Μαθησιακές Δυσκολίες δεν αποτελούν αποκλειστικό πρόβλημα της παιδικής ηλικίας, αλλά συνεχίζονται στην εφηβεία ή στην ενήλικη ζωή και απαιτείται ειδική στήριξη για τη συνεχή αντιμετώπιση των προβλημάτων. Κατά κύριο λόγο, τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι μαθητές με Μαθησιακές Δυσκολίες είναι αυξημένα και αφορούν τόσο στον γνωστικό όσο και στον συναισθηματικο-κοινωνικό τομέα. Αν και τα πιο συχνά και σοβαρά προβλήματα αφορούν στην κατανόηση και στην παραγωγή του γραπτού λόγου, δυσκολίες εμφανίζονται επίσης, στα μαθηματικά και στην κατανόηση των εννοιών στις φυσικές επιστήμες.

Οι Ειδικές Μαθησιακές Δυσκολίες (ΕΜΔ) είναι μια ξεχωριστή κατηγορία δυσκολιών που αφορούν στη μάθηση και πιο συγκεκριμένα στην επεξεργασία του συμβολικού (γραπτού) λόγου και που εκφράζονται με έντονη και ασυνήθιστη επίμονη αδυναμία του μαθητή στην απόκτηση της αναγνωστικής ικανότητας και της ικανότητας για ορθογραφημένη γραφή. Οι ΕΜΔ, όπως η δυσλεξία και η δυσαριθμησία, μελετώνται εδώ και χρόνια από ερευνητές με απώτερο σκοπό να αντιμετωπίζονται αποτελεσματικότερα τόσο ως προς τη διάγνωση όσο και την αποκατάστασή τους. Επιπλέον, οι ΕΜΔ ερευνώνται ώστε να κατανοηθούν σε βάθος όλοι εκείνοι οι μηχανισμοί που εμπλέκονται στη διαδικασία της μάθησης. Η ανάγνωση και η αριθμητική ορίζονται ως βασικά μαθήματα στην επίσημη εκπαίδευση και αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στην εκπαιδευτική και επαγγελματική επιτυχία του ατόμου (Ritchie & Bates, 2013). Το κυρίαρχο πλαίσιο στο οποίο δομείται η διαρκώς εξελισσόμενη

έρευνα για την κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την ανάπτυξη τέτοιων νευρογνωστικών ικανοτήτων, αποτέλεσε και εξακολουθεί να αποτελεί η μελέτη ατόμων που παρουσιάζουν ΕΜΔ. Η μελέτη συγκεκριμένων ομάδων ατόμων που παρουσιάζουν ελλείμματα επιτρέπει την κατανόηση των αιτίων διαφωτίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη διαδικασία των νευρογνωστικών μηχανισμών στους οποίους βασίζεται εν γένει η ανάπτυξη των υπό μελέτη δεξιοτήτων (Peters & Ansari, 2019).

Η μελέτη των ΕΜΔ συνδέεται με ερευνητικές προσπάθειες πολλών ετών όπου διερευνώνται άτομα που παρουσιάζουν συγκεκριμένα ελλείμματα σε έναν τομέα γνωστικής επεξεργασίας, και τα οποία δεν εμφανίζουν γνωστικά λειτουργικά ελλείμματα σε άλλους τομείς (Ansari, 2010). Αυτό συμβαίνει επειδή θεωρείται ότι ο εντοπισμός πιθανών βασικών μεταβλητών που εξηγούν την εμφάνιση των ΕΜΔ θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πιο στοχευμένες παρεμβάσεις στα άτομα που προσπαθούν να αποκτήσουν λειτουργικές ακαδημαϊκές δεξιότητες. Η αναζήτηση του εντοπισμού συγκεκριμένων νευρογνωστικών παραγόντων που προβλέπουν ακαδημαϊκές δεξιότητες χρησιμοποιώντας συγκριτικά δεδομένα ατόμων με διαφορετικά ελλείμματα έχει οδηγήσει σε μικτά και ετερογενή ευρήματα.

Τόσο στη βασική έρευνα όσο και στην κλινική πρακτική, εφαρμόζονται ταξινομικά συστήματα κατηγοριοποίησης των ατόμων που συμμετέχουν σε περαιτέρω μελέτες ή κλινικές παρεμβάσεις. Για παράδειγμα, το DSM-5 ταξινομεί τις ΕΜΔ ως μία υποκατηγορία των νευροαναπτυξιακών διαταραχών που χαρακτηρίζονται από δυσκολίες απόκτησης και εφαρμογής ακαδημαϊκών δεξιοτήτων. Προσδιορίζει ότι απαιτείται επίδοση τουλάχιστον 1,5 τυπικής απόκλισης κάτω από τον μέσο όρο του πληθυσμού ή κάτω από το 7^ο εκατοστημόριο, ώστε να υπάρχει η μεγαλύτερη διαγνωστική ακρίβεια. Επιπλέον, στο DSM-5 δηλώνεται ότι αυτές οι δυσκολίες πρέπει να υφίστανται για τουλάχιστον έξι μήνες, παρά τις στοχοθετημένες παρεμβάσεις, και δεν προκαλούνται λόγω ανεπαρκούς σχολικής εκπαίδευσης ή αναπτυξιακών καθυστερήσεων (π.χ. νοητικά ελλείμματα ή άλλες νευροαναπτυξιακές διαταραχές) (American Psychiatric Association, DSM-5). Για παράδειγμα, σε ένα άτομο το οποίο έχει διαγνωστεί με ΕΜΔ παρέχεται μεγαλύτερη πρόσβαση, όπου δύνανται να προσφερθούν ενισχυτική διδασκαλία, ειδικά προγράμματα και αρκετές διευκολύνσεις στην εκπαιδευτική διαδικασία.

Αν και τα κριτήρια για την κλινική διάγνωση της ΕΜΔ περιγράφονται σαφώς, τα κριτήρια με τα οποία κατηγοριοποιούνται οι συμμετέχοντες σε ομάδες για ερευνητικούς σκοπούς δεν παρουσιάζουν συνήθως την ίδια συνέπεια μεταξύ των μελετών (Landerl, Bevan, & Butterworth, 2004). Λαμβάνοντας υπόψη την υψηλή μεταβλητότητα στα κριτήρια απόρριψης, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι οι αναφερόμενες εκτιμήσεις επιπολασμού της ΕΜΔ είναι επίσης ρευστές (Shalev & Gross-Tsur, 2001; Shaywitz & Shaywitz, 2005). Εάν υπήρχε μεγαλύτερη συνέπεια και συμφωνία εκ μέρους των ερευνητών ως προς την εφαρμογή των κριτηρίων του DSM-5 και την ανάλογη κατάταξη των ατόμων, η εμφάνιση της ΕΜΔ θα έπρεπε να είναι, εξ ορισμού, 7%. Στην πραγματικότητα, λαμβάνοντας υπόψη τα κριτήρια του DSM-5 για επαρκείς εκπαιδευτικές ευκαιρίες, το 7% μπορεί να είναι ακόμη και υπερεκτίμηση του επιπολασμού της ΕΜΔ (Ashkenazi et al., 2012; Evans et al., 2014).

Επιπλέον, σε αντίθεση με τις οδηγίες του DSM-5, πολλοί ερευνητές ενδέχεται να χαρακτηρίσουν τα παιδιά ότι έχουν ΕΜΔ βάσει μιας αξιολόγησης σε ένα χρονικό σημείο, αντί να καταγράφονται ελλείμματα που χαρακτηρίζονται από διάρκεια και επιμονή στο βαθμό δυσκολίας (π.χ. Desroches et al., 2006; Price et al., 2008; αλλά δείτε επίσης Mazzocco, & Räsänen, 2013; Bugden, & Ansari, 2015; Vanbinst, Ghesquière, & De Smedt, 2014). Επιπλέον, το ζήτημα της μεταβλητότητας στον τρόπο αξιολόγησης που χρησιμοποιούν οι ερευνητές όταν αξιολογούν τα άτομα πιθανώς να οδηγεί σε μεταβλητότητα στην ίδια την ταξινόμηση αυτών των ατόμων. Με άλλα λόγια, ένα παιδί θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι έχει ΕΜΔ χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο αξιολόγησης, αλλά εάν είχε αξιολογηθεί με διαφορετικό εξίσου έγκυρο και αξιόπιστο εργαλείο μέτρησης να χαρακτηριζόταν ως τυπικά αναπτυσσόμενο άτομο (Miciak et al., 2013). Αυτή η ετερογένεια στα κριτήρια επιλογής που υιοθετεί η κάθε μελέτη, φανερώνει ότι κάθε προσπάθεια προσδιορισμού κοινών προτύπων όσον αφορά στις επιδόσεις του κάθε ατόμου, είναι πολύ απίθανο να αποφέρει ακριβείς μετα-αναλυτικές εκτιμήσεις. Τελικά, εάν οι διάφοροι ερευνητές εφαρμόζουν διαφορετικά κριτήρια επιλογής και εργαλεία αξιολόγησης προκειμένου να εντάξουν άτομα σε μία ομάδα, αλλά ταυτόχρονα χρησιμοποιούν την ίδια ορολογία για να περιγράψουν τις ομάδες τους (π.χ. «παιδιά με δυσλεξία» για χαμηλή αναγνωστική επάρκεια), τότε οι συγκρίσεις μεταξύ μελετών καθώς και οι βιβλιογραφικές ανασκοπήσεις θα πρέπει να ερμηνεύονται με μεγάλη προσοχή.

Η επικρατέστερη άποψη μεταξύ ερευνητών και κλινικών ιατρών σχετικά με τις ΕΜΔ είναι ότι αυτές είναι ειδικές εκ φύσεως. Για παράδειγμα, τα παιδιά με δυσλεξία εμφανίζουν σοβαρά μειονεκτήματα στην ανάγνωση, ενώ τα παιδιά με δυσαριθμησία παρουσιάζουν αριθμητικά ελλείμματα. Επιπλέον, αυτά τα ειδικά χαρακτηριστικά συμπεριφοράς πιστεύεται ότι προέρχονται από μεμονωμένα κεντρικά ελλείμματα τα οποία είναι κοινά στα παιδιά που φέρουν αυτήν την ετικέτα.

Οι μελέτες των ΕΜΔ υποστηρίζονται από ευρήματα μελετών περιπτώσεων ενήλικων ασθενών με νευροψυχολογικές διαταραχές, όπου οι βλάβες σε περιοχές του εγκεφάλου έχουν συσχετιστεί με συγκεκριμένα ελλείμματα γνωστικής επεξεργασίας σε μεμονωμένους τομείς (Dehaene & Naccache, 2001). Ωστόσο, παρουσιάζει αρκετά εννοιολογικά ζητήματα η μετάβαση από ενήλικες με νευροψυχολογικές διαταραχές σε παιδιά με αναπτυξιακές δυσκολίες. Πιο συγκεκριμένα, παιδιά που ανήκουν στην ίδια ομάδα παρουσιάζουν μεταβλητούς φαινότυπους, παρά το γεγονός ότι έχουν κατηγοριοποιηθεί χρησιμοποιώντας τα ίδια κριτήρια επιλογής. Για παράδειγμα, δεν παρουσιάζουν όλα τα παιδιά με δυσλεξία φωνολογικά ελλείμματα (Snowling, 2008), καθώς έχουν βρεθεί και άλλοι παράγοντες που συσχετίζονται με τη δυσλεξία (Goswami, 2011; Smith-Spark & Fish, 2007; Valdois, et. al., 2004). Επιπλέον, έχει βρεθεί ότι υπάρχουν μεταβλητά προφίλ δυνατοτήτων και αδυναμιών μεταξύ των βασικότερων ελλειμμάτων σε ομάδες παιδιών με δυσλεξία (Heim et al., 2008). Επίσης, έχουν αναφερθεί μοτίβα φαινοτυπικής μεταβλητότητας εντός της ομάδας σε παιδιά που έχει επισημανθεί ότι έχουν δυσκολία. Για παράδειγμα, ο Bartelet και οι συνάδελφοί του (Bartelet et al., 2014), χρησιμοποιώντας αναλύσεις συστάδων, διαπίστωσαν ότι η επίδοση των παιδιών σε ένα ευρύ εργαλείο αξιολόγησης επεξεργασίας αριθμών κατέληξε σε επτά ανεξάρτητες συστάδες. Έτσι, ακόμη και αν κάποιος αποδεχτεί την έννοια των ΕΜΔ, είναι σαφές ότι υπάρχει σημαντική ετερογένεια εντός της διαταραχής. Επομένως, κανένα μεμονωμένο βασικό έλλειμμα δεν μπορεί να εξηγήσει όλα τα μοτίβα επίδοσης σε ομάδες παιδιών που ανήκουν στην ίδια κατηγορία (Fias et al., 2013; Grigorenko, 2001).

Πέραν των μελετών που εξετάζουν τους γνωστικούς συσχετισμούς των ΕΜΔ, έρευνες που μελετούν συσχετίσεις νευρώνων έρχονται να ενισχύσουν περαιτέρω την ιδέα ότι οι ΕΜΔ δεν μπορούν να περιοριστούν στα βασικά ελλείμματα τα οποία είναι δυνατόν να εμφανιστούν σε απομονωμένες εγκεφαλικές περιοχές. Για παράδειγμα, οι νευροαπεικονιστικές μελέτες

παιδιών με δυσλεξία έχουν φανερώσει παρεκκλίνουσα εγκεφαλική ενεργοποίηση σε ένα ευρύ αριστερά-πλευριωμένο δίκτυο, το οποίο περιλαμβάνει τις κατώτερες βρεγματικές, μετωπικές, κροταφικές περιοχές (Richlan et al., 2009). Σε αυτό το πλαίσιο, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι ορισμένες από αυτές τις περιοχές που εμφανίζουν επίπεδα ενεργοποίησης που παρεκκλίνουν, βρίσκονται εκτός του «νευρικού δικτύου ανάγνωσης» (Martin et al., 2015). Αυτό συνεπάγεται ότι υπάρχουν περισσότερες περιοχές του εγκεφάλου που σχετίζονται με χαμηλή αναγνωστική επίδοση από ό,τι θα είχε προβλεφθεί βάσει ενός μόνο νευρικού ελλείμματος που σχετίζεται με δυσλεξία. Σε αυτήν την περίπτωση, οι νευρικές διαφορές θα περιορίζονταν σε μια μεμονωμένη περιοχή του εγκεφάλου στο αναγνωστικό δίκτυο. Τέτοιες αναφορές για παρεκκλίνουσα νευρική ενεργοποίηση σε ευρείες περιοχές του εγκεφάλου υποδηλώνουν ότι δεν υπάρχουν ενδείξεις για μεμονωμένα νευρικά ελλείμματα (από άποψη περιοχών ενός εγκεφάλου) που να σχετίζονται με οποιαδήποτε ΕΜΔ.

Είναι σημαντικό να ληφθεί υπόψη ότι, όπως και οι συμπεριφοριστικές μελέτες, έτσι και οι νευροαπεικονιστικές μελέτες χαρακτηρίζονται συνήθως από μικρά δείγματα παιδιών που έχουν κατηγοριοποιηθεί ότι έχουν ΕΜΔ και παρουσιάζουν διακύμανση μεταξύ των μελετών ως προς τα διαγνωστικά κριτήρια που χρησιμοποιούνται για την κατηγοριοποίηση των παιδιών αυτών (Ramus et al., 2018). Επομένως, είναι πιθανό ότι η παρατηρούμενη ετερογένεια στην εγκεφαλική ενεργοποίηση μεταξύ των μελετών δεν αντανακλά την ύπαρξη πολλαπλών νευρικών συσχετισμών που σχετίζονται με μια ΕΜΔ, αλλά μάλλον σε αδύναμες εκτιμήσεις της (Ramus et al., 2018; Poldrack et al., 2017; Cremers et al., 2017). Κατά συνέπεια, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται με μεγάλη προσοχή οι οποιεσδήποτε μετα-αναλυτικές αξιολογήσεις τέτοιων δεδομένων.

Όπως οι γνωστικές και νευροαπεικονιστικές μελέτες, έτσι και η έρευνα σχετικά με τη γενετική βάση των ΕΜΔ απέτυχε εν μέρει να καταδείξει στοιχεία σαφών, μοναδικών αιτιωδών παραγόντων. Στο παρελθόν, οι ερευνητές προσπάθησαν συχνά να συσχετίσουν μεμονωμένα γονίδια με αποτελέσματα συμπεριφοράς (Taipale et al., 2003; Carvalho, 2014) με τις περισσότερες από αυτές να παρουσιάζουν δυσκολία αναπαραγωγής (Munafò, 2006). Πρόσφατη έρευνα σχετικά με τους γενετικούς συσχετισμούς των γνωστικών φαινοτύπων έχει δείξει γιατί δεν προκαλεί έκπληξη η απουσία στοιχείων για συγκεκριμένα γονίδια υποψήφια για ΕΜΔ. Συγκεκριμένα, η εξέταση γενετικών παραλλαγών σε ολόκληρο το

γονιδίωμα είναι πλέον εφικτή με την ανάπτυξη μεθοδολογικών και αναλυτικών εργαλείων (Genome Wide Association Studies, GWAS) καταδεικνύοντας τη συσχέτιση πολλαπλών και όχι μεμονωμένων γενετικών παραλλαγών με γνωστικούς φαινοτύπους (Trampush et al., 2017). Το επαναλαμβανόμενο εύρημα ότι πολλαπλές γενετικές παραλλαγές σχετίζονται με συγκεκριμένους φαινοτύπους, με κάθε γενετική παραλλαγή να έχει πολύ μικρή στατιστική επίδραση, έχει γίνει ευρέως γνωστό ως ο τέταρτος νόμος της γενετικής συμπεριφοράς (Chabris et al., 2015). Τέτοιες πολυγονικές (πολλαπλές γενετικές παραλλαγές που συσχετίζονται με φαινοτυπικές παραλλαγές) επιδράσεις διαφάνηκαν όχι μόνο για τη νοημοσύνη (Trampush et al., 2017), αλλά και για την αναγνωστική δεξιότητα (Selzam et al., 2017), τη μαθηματική ικανότητα (Chen et al., 2017) και τη συνολική ακαδημαϊκή επίδοση (Rietveld et al., 2013). Αυτές οι πολυγονικές επιδράσεις παρέχουν ακόμη περαιτέρω στοιχεία ότι οι ΕΜΔ μπορούν να εξηγηθούν μόνο αν υιοθετηθεί ένα πλαίσιο το οποίο να εξετάζει πολλαπλές αιτιώδεις σχέσεις σε πολλαπλά επίπεδα ανάλυσης (Konas & Plomin, 2006).

Μέχρι στιγμής, η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην αληθοφάνεια των μεμονωμένων ελλειμμάτων. Ωστόσο, τα παιδιά με ΕΜΔ σε έναν τομέα (π.χ. ανάγνωση), συχνά εμφανίζουν δυσκολίες σε άλλους τομείς (π.χ. αριθμητική): το ποσοστό της συννοσηρότητας ή της συνύπαρξης διαφορετικών ΕΜΔ είναι εξαιρετικά υψηλό (Landerl & Moll, 2010). Ενδεχομένως, όμως οι ερευνητές να μην έχουν εξετάσει επαρκώς τη συννοσηρότητα τόσο αναφορικά με τα διαγνωστικά τους κριτήρια όσο και στα αιτιώδη μοντέλα των ΕΜΔ. Επομένως, δεν προκαλεί έκπληξη το γεγονός ότι πολλές μελέτες έχουν θεωρήσει αυτή τη συννοσηρότητα ως στοιχείο που μάλλον προκαλεί σύγχυση. Οι ερευνητές που ερευνούν τους γνωστικούς συσχετισμούς της δυσλεξίας συνήθως δεν περιλαμβάνουν αξιολόγηση στην αριθμητική (Temple et al., 2001) και, ομοίως, οι έρευνες που επικεντρώνονται στην κατανόηση της προέλευσης της δυσαριθμησίας σπάνια λαμβάνουν υπόψη τις αναγνωστικές δεξιότητες των παιδιών (Mazzocco, Feigenson, & Halberda, 2011). Επιπλέον, όταν οι ερευνητές αξιολογούν την αριθμητική (στο πλαίσιο της δυσλεξίας) ή την ανάγνωση (στο πλαίσιο της δυσαριθμησίας), αυτές οι αξιολογήσεις συχνά ταυτίζονται μεταξύ των ομάδων ή περιλαμβάνονται ως συμμεταβλητές (Cutini et al., 2016; Rosenberg-Lee et al., 2015).

Σε ένα νευρολογικό επίπεδο, η έρευνα που διερευνά την προέλευση της συννοσηρότητας μεταξύ των ΕΜΔ είναι επίσης σπάνια και επικεντρώνεται σε μεμονωμένες ομάδες παιδιών

που παρουσιάζουν δυσκολίες σε έναν τομέα αλλά όχι σε άλλους. Έχουν υπάρξει ορισμένες αναφορές νευρολογικής αλληλοεπικάλυψης στην αριθμητική και την ανάγνωση (Andin et al., 2015; Evans et al., 2016; Sprooten et al., 2017), αλλά αυτές βασίστηκαν αποκλειστικά στην ενεργοποίηση παρόμοιων εγκεφαλικών περιοχών στο πλαίσιο ξεχωριστών δοκιμασιών. Ωστόσο, πρόσφατα, δύο νευροαπεικονιστικές μελέτες έχουν αντιπαραβάλλει τους νευρικούς συσχετισμούς διαφορετικών ΕΜΔ. Παραδόξως, και οι δύο μελέτες ανέφεραν νευρική ομοιότητα μεταξύ των ΕΜΔ, η οποία συνήθως εμφανίζεται με μηδενικά αποτελέσματα, καθιστώντας δύσκολή την ερμηνεία της δεδομένης της απουσίας αποδεικτικών ευρημάτων. Ωστόσο, και στις δύο μελέτες, εφαρμόστηκαν εξελιγμένες τεχνικές ώστε να παρακαμφθούν προβλήματα εξαγωγής συμπερασμάτων από μηδενικά αποτελέσματα. Συγκεκριμένα, σε μια μελέτη DTI σε ενήλικες (Moreau et al., 2018) χρησιμοποιώντας στατιστική Bayesian (επιτρέποντας έτσι την ποσοτικοποίηση των δεδομένων για τη μηδενική υπόθεση (Quintana & Williams, 2018)), ανέφεραν μέτρια στοιχεία υπέρ της μηδενικής υπόθεσης ότι δεν υπάρχουν ομαδικές διαφορές στη ακεραιότητα της λευκής ουσίας εντός της τοξοειδούς δέσμης και του ακτινωτού στεφάνου.

Με παρόμοιο τρόπο, χρησιμοποιώντας πολυμεταβλητή γενικευμένη ανάλυση υποκειμένων, μια μελέτη με χρήση fMRI σε παιδιά σχολικής ηλικίας διαπίστωσε ότι τα μοτίβα νευρικής ενεργοποίησης που προέκυψαν από μια δοκιμασία με αριθμητική ήταν δυσδιάκριτα μεταξύ ομάδων με ΕΜΔ. Αυτά τα δεδομένα παρέχουν στοιχεία για νευρική ομοιότητα μεταξύ των ΕΜΔ και ως εκ τούτου αντιτίθενται στην αντίληψη ότι οι ΕΜΔ συνδέονται με συγκεκριμένα και διαχωρίσιμα νευρικά ελλείμματα (Peters et al., 2018). Είναι προφανές ότι απαιτούνται περισσότερες νευροαπεικονιστικές μελέτες για να επιβεβαιωθεί αυτή η έλλειψη συγκεκριμένων νευρικών ελλειμμάτων για διαφορετικές ΕΜΔ. Αυτά τα συμπεράσματα συμφωνούν με μια πρόσφατη μετα-ανάλυση που κατέδειξε ότι οι νευρικοί συσχετισμοί διαφόρων ψυχιατρικών διαταραχών όπως η σχιζοφρένεια, οι αγχώδεις διαταραχές και οι διπολικές διαταραχές μπορεί να μην είναι τόσο συγκεκριμένοι όσο αρχικά πιστευόταν και ότι υπάρχει σημαντική αλληλοεπικάλυψη μεταξύ των διαταραχών (Sprooten et al., 2017).

Τα ευρήματα από δίδυμες μελέτες και GWAS (Genome-Wide Association Study) από τη γενετική δείχνουν επίσης ότι διαφορετικοί γνωστικοί φαινότυποι αλληλοεπικαλύπτονται καθώς τα ίδια σύνολα γενετικών παραλλαγών σχετίζονται με διαφορετικούς γνωστικούς

φαινοτύπους (Rimfeld et al., 2015; Butterworth & Kovas, 2013). Τέτοια ευρήματα οδήγησαν στην υπόθεση των «γενικευμένων γονιδίων» (Plomin & Kovas, 2005), η οποία υποδηλώνει ότι υπάρχει πλειοτροπία ή γενετική συσχέτιση, μεταξύ τομέων όπως η ανάγνωση και η αριθμητική (Krapohl et al., 2014; Davis et al., 2014). Συγκεκριμένα, η έρευνα έχει δείξει ότι τα γονιδιακά σετ που επηρεάζουν την αριθμητική συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τις ατομικές διαφορές στην ανάγνωση και το αντίστροφο. Αυτά τα ευρήματα καταδεικνύουν ότι συγκεκριμένες γενετικές επιδράσεις είτε στην ανάγνωση είτε στην αριθμητική είναι ασθενέστερες από γενικές γενετικές επιδράσεις (Rimfeld et al., 2015; Butterworth & Kovas, 2013). Για παράδειγμα, μια μελέτη Genome-Wide Complex Trait Analysis από τους Rimfeld και τους συνεργάτες (Rimfeld et al., 2015) αποκάλυψε σημαντική αλληλοεπικάλυψη μεταξύ γονιδίων που εμπλέκονται στην αριθμητική και την ανάγνωση, ακόμη και όταν λαμβάνονται υπόψη οι γενετικοί συσχετισμοί με τη νοημοσύνη. Έτσι, παρέχεται ακόμη περαιτέρω υποστήριξη και μέσω της γενετικής ότι οι διαφορετικές ΕΜΔ δεν είναι εύκολα διακριτές όσο πιστεύονταν προηγουμένως και, επιπλέον, ότι χαρακτηρίζονται από έντονη βιολογική αλληλοεπικάλυψη. Επομένως, η εστίαση σε συγκεκριμένους, διαχωρίσιμους συσχετισμούς ενδέχεται να μην είναι ενδεδειγμένη (Bishop, 2015). Συμπερασματικά, η γενετική αποκάλυψε ότι παρόμοιες γενετικές παραλλαγές επηρεάζουν τη μεταβλητότητα σε φαινομενικά διαφορετικούς φαινοτύπους και ότι οι ίδιες γενετικές παραλλαγές επηρεάζουν τη φαινοτυπική παραλλαγή στα επίπεδα ικανότητας (Button et al., 2013).

Υπό το πρίσμα αυτό, θα ήταν πιο ουσιαστικό να υιοθετηθεί ένα πολυδιάστατο μοντέλο αναφοράς στις επιστήμες συμπεριφοράς, στη νευροεπιστήμη και στη γενετική. Ένα τέτοιο μοντέλο προβλέπει ότι οι ατομικές διαφορές μεταξύ όλων των μαθητών προκαλούνται πιθανώς από τους ίδιους γνωστικούς, νευρικούς, γενετικούς και συμπεριφορικούς παράγοντες. Μια πολυδιάστατη προσέγγιση θα ενισχύσει την δυνατότητα να χαρακτηρίζονται ορθότερα οι αιτιώδεις παράγοντες αναφορικά με την ατομική μεταβλητότητα στην επίδοση.

1.2 Ειδική Αναπτυξιακή Δυσλεξία (ΕΑΔ)

Η λέξη δυσλεξία είναι ελληνικής προέλευσης: το πρόθεμα *δυσ* σημαίνει δύσκολη και η ρίζα, *λεξία*, σημαίνει λέξη. Ο όρος δυσλεξία χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1887 από τον Rudolf Berlin, ένα γερμανό οφθαλμίατρο, προκειμένου να περιγράψει μια συγκεκριμένη μορφή λεξικής τυφλότητας που ανιχνεύτηκε σε ενήλικες και η οποία σύμφωνα με τον Berlin προκλήθηκε από εγκεφαλικές κακώσεις. Ο Berlin υποστήριξε ότι μια σοβαρή βλάβη θα μπορούσε να οδηγήσει σε αλεξία, μια συνολική δηλαδή αδυναμία κάποιου να διαβάσει, ενώ μια λιγότερο σοβαρή ζημιά θα ήταν περισσότερο πιθανό να προκαλέσει δυσλεξία, μια έντονη δηλαδή δυσκολία στην αποκωδικοποίηση των γραπτών συμβόλων.

Ένας άλλος, επίσης Γερμανός γιατρός ο Adolf Kussmaul, είχε επινοήσει το 1877 τον όρο λεξική τύφλωση για να περιγράψει παρόμοια συμπεριφορά στην ανάγνωση. Ενδιαφερόταν για ενήλικες με αναγνωστικές δυσκολίες λόγω νευρολογικών ελλειμμάτων και παρατήρησε ασθενείς οι οποίοι επέδειξαν αδυναμία αναγνώρισης γραπτών λέξεων μετά από αγγειακό εγκεφαλικό επεισόδιο. Ενδιαφέρον ήταν το γεγονός ότι η νοημοσύνη των ασθενών, η ευχέρεια στην ομιλία και η όραση δεν είχαν επηρεαστεί από τον τραυματισμό που είχαν υποστεί. Προβληματισμένος από το γεγονός ότι αυτές οι ικανότητες παρέμειναν ανεπηρέαστες, συνέχισε τις έρευνες με επίκεντρο τις βλάβες γύρω από την αριστερή γωνιώδη έλικα, μια περιοχή του εγκεφάλου στον βρεγματικό λοβό. Ο Kussmaul κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια βλάβη στην αριστερή γωνιώδη έλικα ήταν υπεύθυνη για τις αναγνωστικές δυσκολίες, συσχετίζοντας την αναγνωστική διαδικασία με μια βλάβη σε αυτήν την εγκεφαλική περιοχή.

Άλλοι κλινικοί γιατροί όπως ο Βρετανός νευρολόγος William Broadbent, ο Γάλλος νευρολόγος Joseph Dejerine και ο Γερμανός γιατρός Johann Schmidt ανέφεραν επίσης περιπτώσεις δυσλεξίας (Elliott & Grigorenko, 2014; Ott, 1997; Shaywitz, 2003). Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτοί οι κλινικοί γιατροί περιέγραψαν άτυπα μοτίβα ανάγνωσης σε εγγράμματους ενήλικες που είχαν φυσιολογικά επίπεδα αναγνωστικών δεξιοτήτων, προτού υποστούν εγκεφαλικές βλάβες. Η κατάσταση η οποία σήμερα ονομάζεται επίκτητη δυσλεξία, είναι μια διαταραχή της ανάγνωσης που εμφανίζεται σε προνοσηρά εγγράμματα άτομα που υφίστανται απώλεια ήδη κατακτημένων δεξιοτήτων ανάγνωσης μετά από εγκεφαλικό τραυματισμό (Leong & Joshi, 2013). Παρόμοια άτυπα πρότυπα ανάγνωσης παρατηρούνται

επίσης σε άτομα που δεν έχουν επιτύχει ποτέ το αναμενόμενο επίπεδο ανάγνωσης. Ο όρος αναπτυξιακή δυσλεξία ισχύει για αυτήν την κατάσταση. Υπό το πρίσμα αυτό, είναι διαφορετική η φύση της αναγνωστικής δυσχέρειας στην επίκτητη δυσλεξία και στην αναπτυξιακή δυσλεξία (Jackson & Coltheart, 2001).

Αξίζει να σημειωθεί ότι χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή ο ισχυρισμός ότι η αναπτυξιακή δυσλεξία παρουσιάζεται μόνο σε παιδιά σχολικής ηλικίας, ενώ η επίκτητη δυσλεξία σχετίζεται πάντα με ενήλικες και έχει ως αίτιο μία εγκεφαλική βλάβη (Jackson & Coltheart, 2001). Μελέτες περιπτώσεων σε άτομα με δυσλεξία συλλέγοντας αθροιστικά στοιχεία φανέρωσαν ότι ο τύπος της δυσλεξίας δεν σχετίζεται απαραίτητα με την ηλικία και την εγκεφαλική βλάβη. Για παράδειγμα, υπάρχουν περιπτώσεις παιδιών που, παρόλο που χαρακτηρίζονται ως τυπικοί αναγνώστες και έχουν επιδείξει πρόοδο στην ανάπτυξη αναγνωστικών δεξιοτήτων, ξαφνικά χάνουν την αναγνωστική ικανότητά τους, όπου πρόκειται για περίπτωση επίκτητης δυσλεξίας. Από την άλλη πλευρά, μια ηλικιωμένη γυναίκα σε ηλικία 80 ετών που είχε πάντα μεγάλες δυσκολίες στην ανάγνωση είναι ένα παράδειγμα αναπτυξιακής και όχι επίκτητης δυσλεξίας, επειδή ποτέ δεν υπήρξε επιδέξια αναγνώστρια.

Επιπρόσθετα, οι περιπτώσεις επίκτητης δυσλεξίας στις οποίες η εγκεφαλική βλάβη δεν είναι απαραίτητα η πηγή αναγνωστικών δυσκολιών καταδεικνύει ότι η εγκεφαλική βλάβη δεν αποτελεί πάντα ένδειξη της επίκτητης δυσλεξίας. Οι Jackson και Coltheart (2001) δίνουν μία περίπτωση ενός άνδρα που έλαβε τη διάγνωση της επίκτητης δυσλεξίας αν και ήταν επιδέξιος αναγνώστης. Ο συγκεκριμένος ασθενής μια μέρα ξύπνησε και αντιλήφθηκε τις δυσκολίες του στην ανάγνωση παρότι δεν εντοπίστηκε ούτε βλάβη στον εγκέφαλο αλλά ούτε και εγκεφαλικές αλλοιώσεις. Όσον αφορά στην αναπτυξιακή δυσλεξία, οι μεταβολές στη λειτουργία του εγκεφάλου που σχετίζονται με την ελαττωματική ωρίμανση του εγκεφάλου είναι καθοριστικές στο να εξηγήσουν αυτή την αναγνωστική διαταραχή (Habib, 2000; Shaywitz et al., 2002).

Η πρώτη αναφορά για αναπτυξιακή δυσλεξία, με τίτλο «*A case of Congenital Word Blindness*», δημοσιεύθηκε από τον Βρετανό γιατρό Dr. William Pringle Morgan το 1896 (Shaywitz, 2003; Snowling, 2000). Στην αναφορά του, ο Morgan περιέγραψε ένα 14χρονο αγόρι που ονομαζόταν Percy F. ως περίπτωση αναπτυξιακής δυσλεξίας (Cook & Ryan, 2016).

Παρά το γεγονός ότι ήταν έξυπνο γρήγορο στα παιχνίδια, το αγόρι είχε σοβαρές δυσκολίες στην εκμάθηση της ανάγνωσης. Ο Percy «πάλεψε» με την ανάγνωση απλών προτάσεων, κάνοντας λάθη σε κάθε λέξη, εκτός από άρθρα, προθέσεις και συνδέσεις. Επιπλέον, έκανε πολλά ορθογραφικά λάθη, συμπεριλαμβανομένου του ονόματός του, το οποίο συνήθιζε να γράφει ως Precy. Ο Morgan αξιολόγησε επίσης την ικανότητά του να διαβάζει αριθμούς και να επιτελεί μαθηματικές λειτουργίες όπως ο πολλαπλασιασμός και προβληματιζόταν από το γεγονός ότι το αγόρι εκτελούσε εύκολα αυτές τις δοκιμασίες. Υπό το φως όλων αυτών των στοιχείων, ο Morgan κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αδυναμία του Percy να μάθει να διαβάζει οφείλεται σε μια συγγενή αλλοίωση στην αριστερή γωνιώδη έλικα, καθώς παρόμοιες δυσκολίες παρατηρήθηκαν σε ενήλικες με παρόμοιο τραυματισμό σε αυτήν την περιοχή.

Με την πάροδο των ετών, αναφέρθηκαν περισσότερες περιπτώσεις αναπτυξιακής δυσλεξίας στην Ευρώπη και τις Ηνωμένες Πολιτείες (Elliott & Grigorenko, 2014; Shaywitz, 2003). Κατά τη δεκαετία του 1920 ένας από τους πιο εξέχοντες ήταν ο Αμερικανός νευρολόγος Dr. Samuel Torrey Orton. Στο σημαντικό έργο του «*Reading, Writing and Speech Difficulties in Children*» δημοσιεύθηκε το 1937, ο Orton πρότεινε μια θεωρία εγκεφαλικής κυριαρχίας που υποδηλώνει ότι, στη δυσλεξία, κανένα ημισφαίριο δεν ήταν κυρίαρχο και αυτό θα εξηγούσε τα βασικά συμπτώματα της αναπτυξιακής δυσλεξίας, όπως αντιστροφή γραμμάτων, συλλαβών και λέξεων. Παρόλο που η υπόθεσή του διαψεύστηκε, πολλές από τις παρατηρήσεις του είχαν μεγάλο αντίκτυπο στην κατανόηση της δυσλεξίας και πυροδότησαν πολλές συζητήσεις στη βιβλιογραφία (Høien & Lundberg, 2000). Ένα χρόνο μετά το θάνατο του Orton το 1948, ιδρύθηκε η Orton Dyslexia Society με την αποστολή να συνεχίσει το έργο του για την πρόληψη, τη θεραπεία και τη μελέτη αυτής της διαταραχής. Η Orton Dyslexia Society είναι το πρώην όνομα του International Dyslexia Association (IDA), ενός μη κερδοσκοπικού οργανισμού εκπαίδευσης και υπεράσπισης που είναι αφιερωμένος σε αυτήν την αναγνωστική διαταραχή στις ΗΠΑ.

Όπως φαίνεται σε αυτή τη σύντομη ιστορική παράθεση, η έρευνα για τη δυσλεξία ξεκίνησε πριν από περισσότερο έναν αιώνα και έκτοτε έχουν γίνει σημαντικές συνεισφορές στην έρευνα αναφορικά με τη δυσλεξία (Jackson & Coltheart, 2001). Σήμερα, οι ερευνητές γενικώς συμφωνούν ότι η αναπτυξιακή δυσλεξία αποτελεί μια διαταραχή νευροβιολογικής

προέλευσης που χαρακτηρίζεται από δυσκολίες στην ικανότητα ανάγνωσης και γραφής (Cook & Ryan, 2016). Με προηγμένες νευροαπεικονιστικές τεχνικές (fMRI, EEG, MEG), είναι δυνατή η ανίχνευση νευρωνικών ανωμαλιών που σχετίζονται με αυτήν τη διαταραχή. Τα τελευταία 50 χρόνια ο ορισμός της δυσλεξίας συζητείται ευρέως στον επιστημονικό και όχι μόνο κλάδο μέσα από λεπτομερείς περιγραφές των συμπεριφορών και συμπτωμάτων που παρατηρούνται στην αναπτυξιακή δυσλεξία. Παρότι υπάρχει μία γενική συναίνεση μεταξύ των ερευνητών ότι η αναπτυξιακή δυσλεξία μπορεί να έχει πολλές υποκείμενες αιτίες και συνοδεύεται γενικά από άλλες αναπτυξιακές διαταραχές, όπως η Διαταραχή Ελλειμματικής Προσοχής - Υπερκινητικότητα (ΔΕΠΥ) (Joshi & Aaron, 2016), εντούτοις έχουν προταθεί ποικίλοι ορισμοί της αναπτυξιακής δυσλεξίας. Η επόμενη ενότητα στοχεύει στην παρουσίαση σημαντικών χαρακτηριστικών της αναπτυξιακής δυσλεξίας, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον ορισμό της.

Τα τελευταία χρόνια είναι έντονος ο διάλογος μεταξύ των ερευνητών σχετικά με τη διατύπωση ενός κατάλληλου ορισμού για την αναπτυξιακή δυσλεξία με το μεγαλύτερο μέρος της ασυμφωνίας να αφορά τις υποκείμενες αιτίες της αναπτυξιακής δυσλεξίας (Castles & Coltheart, 1993; Fisher & DeFries, 2002; Fletcher, 2009; Lyon et al., 2003). Οι Rice και Brooks (2004) εξετάζοντας χιλιάδες κεφάλαια βιβλίων και αναλύοντας πολλούς ορισμούς της δυσλεξίας διέκριναν δύο τύπους ορισμών: τον περιγραφικό και τον επεξηγηματικό ορισμό. Ως περιγραφικός ορισμός της δυσλεξίας χαρακτηρίζεται εκείνος που περιγράφει καθαρά αναπτυξιακές δυσκολίες, όπως κακή αποκωδικοποίηση λέξεων (ανάγνωση) και κωδικοποίηση (ορθογραφία). Οι περιγραφικοί ορισμοί στοχεύουν στη διευκόλυνση της έγκαιρης διάγνωσης της δυσλεξίας, η οποία με τη σειρά της οδηγεί σε έγκαιρη παρέμβαση, ωστόσο στερούνται επεξηγηματικών στοιχείων σχετικά με πιθανές υποκείμενες αιτίες δυσλεξίας. Από την άλλη, οι επεξηγηματικοί ορισμοί στηρίζονται σε επεξηγηματικές θεωρίες. Παραμένει ένα αμφιλεγόμενο ζήτημα μεταξύ ερευνητών και κλινικών ποιο είδος ορισμού είναι αυτός με τη μεγαλύτερη εφαρμογή.

Οι Tunmer και Greaney (2010) προσπαθώντας να συμβάλουν σε αυτήν τη συζήτηση διατύπωσαν τρεις αλληλένδετες ερωτήσεις: Τι είναι η δυσλεξία; Τι την προκαλεί; Τι μπορεί να γίνει για αυτήν; Σύμφωνα με τους ερευνητές, το εννοιολογικό πλαίσιο βάσει του οποίου κανείς προσεγγίζει τη δυσλεξία, τα αίτια που οδηγούν σε αναγνωστικές δυσκολίες και η

συζήτηση για την πιο αποτελεσματική παρέμβαση, επηρεάζονται έντονα από την ευρύτερη αντίληψη για το τι είναι η ανάγνωση και πώς αποκτάται. Με βάση τις απαντήσεις στα παραπάνω ερωτήματα, οι Tunmer και Greaney (2010) υποστηρίζουν ότι ένας ουσιαστικός ορισμός της δυσλεξίας θα πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα στοιχεία: (1) επίμονες μαθησιακές δυσκολίες, (2) παράγοντες αποκλεισμού, (3) δομημένη διδασκαλία και αντιμετώπιση, και (4) παράγοντες ένταξης.

Ένας ορισμός που περιλαμβάνει αυτά τα τέσσερα συστατικά είναι αυτός που αναπτύχθηκε από μια ομάδα εργασίας της Διεθνούς Ένωσης Δυσλεξίας (Lyon et al., 2003). Ο ορισμός του Lyon και των συναδέλφων του (2003) είναι κοινώς αποδεκτός και αναφέρεται στη βιβλιογραφία της δυσλεξίας (Elliott & Grigorenko, 2014; Fletcher, 2009). Ο ακόλουθος ορισμός είναι μια ενημερωμένη έκδοση του λειτουργικού ορισμού του 1994:

“Η δυσλεξία είναι μια ειδική μαθησιακή αδυναμία νευροβιολογικής προέλευσης. Χαρακτηρίζεται από δυσκολίες στην ακριβή ή / και ευχερή αναγνώριση λέξεων, και από αδύναμες δεξιότητες ορθογραφίας και αποκωδικοποίησης. Αυτές οι δυσκολίες προκύπτουν συνήθως από ένα έλλειμμα στη φωνολογική ενημερότητα το οποίο είναι συχνά απροσδόκητο σε σχέση με άλλες γνωστικές ικανότητες και την παροχή αποτελεσματικής διδασκαλίας στην τάξη. Οι δευτερογενείς συνέπειες μπορεί να περιλαμβάνουν δυσκολίες στην αναγνωστική κατανόηση και μειωμένη εμπειρία ανάγνωσης που μπορούν να εμποδίσουν την ανάπτυξη του λεξιλογίου και της προϋπάρχουσας γνώσης” (Lyon et al., 2003).

Ο παραπάνω ορισμός παρέχει βασικά χαρακτηριστικά της δυσλεξίας. Στην πρώτη πρόταση του ορισμού, ο Lyon και οι συνεργάτες του (2003) αναφέρονται στην εξειδίκευση της δυσλεξίας ως προς τις μαθησιακές δεξιότητες καθώς και στη νευροβιολογική προέλευσή της. Αξίζει να σημειωθεί ότι αυτός ο ορισμός υπερβαίνει επίσης την καθιερωμένη άποψη της δυσλεξίας ότι πρόκειται μόνο για δυσκολίες αποκωδικοποίησης μιας λέξης. Οι ικανότητες αποκωδικοποίησης ψευδολέξεων, για παράδειγμα, και η κακή ορθογραφία θεωρούνται επίσης ως εκδήλωση δυσκολιών κατανόησης της ανάγνωσης και μειωμένης εμπειρίας ανάγνωσης, οι οποίες με τη σειρά τους, μπορεί να οδηγήσουν σε περιορισμένη ανάπτυξη του λεξιλογίου και των βασικών γνώσεων. Ο ορισμός του Lyon και των συναδέλφων του (2003) περιλαμβάνει επίσης την βασική αιτιώδη εξήγηση της δυσλεξίας, το έλλειμμα

φωνολογικής επεξεργασίας, το οποίο δεν σχετίζεται με τη νοημοσύνη και την διδασκαλία στην τάξη.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι παραδοσιακά, οι κλινικοί γιατροί έχουν εντοπίσει άτομα με δυσλεξία με τη βοήθεια σταθμισμένων τεστ τα οποία αξιολογούν τη νοημοσύνη και τις γνωστικές ικανότητες, προκειμένου να βεβαιωθεί ότι οι μαθησιακές δυσκολίες της δυσλεξίας δεν προκαλούνται άμεσα από έναν χαμηλό δείκτη νοημοσύνης. Κατά συνέπεια, πολλοί ορισμοί της δυσλεξίας συμβαδίζουν με την ιδέα του κριτηρίου που βασίζεται στη διαφορά, δηλαδή, της απόκλισης μεταξύ της νοητικής ηλικίας, που μετράται από ένα πηλίκο νοημοσύνης (IQ) και την αναγνωστική ηλικία, μετρούμενη με σταθμισμένα τεστ αναγνωστικής ακρίβειας και κατανόησης, σε σύγκριση με τη χρονολογική ηλικία (Bishop & Snowling, 2004; Fletcher, 2009; Lyon et al., 2003; Ramus, 2003). Ένα παράδειγμα ενός ορισμού που βασίζεται σε αυτήν τη διαφορά είναι αυτός που προτείνεται από το διαγνωστικό σύστημα ταξινόμησης των Νοητικών και Συμπεριφορικών Διαταραχών ICD-10 (World Health Organization-WHO, 1993).

1.3 Ερμηνευτικές θεωρίες της ΕΑΔ

Ο ορισμός και η ερμηνεία της δυσλεξίας έχουν αποτελέσει θέμα ευρείας συζήτησης, με επίκεντρο αυτής τη φύση και τα χαρακτηριστικά της διαταραχής (Elliott & Grigorenko, 2014). Προκειμένου να κατανοηθεί καλύτερα η διαταραχή, χρειάζεται αρχικά να παρουσιαστούν οι υφιστάμενες διαφορετικές ερμηνευτικές προσεγγίσεις για τη δυσλεξία. Οι Morton και Frith (1995) πρότειναν ένα αιτιώδες μοντέλο, το οποίο διακρίνει σαφώς τα τρία κύρια επίπεδα ερμηνείας: το βιολογικό, το γνωστικό και το συμπεριφορικό. Το συγκεκριμένο μοντέλο αναγνωρίζεται ευρέως επειδή παρέχει μία πλήρη αιτιώδη εξήγηση για αυτή τη διαταραχή (Adelman, 2012; Beaton, 2004; Cline & Frederickson, 2009; Hulme & Snowling, 2013; Nicolson & Fawcett, 2008; Pavey, 2007). Η συχνή αναφορά και ευρεία αποδοχή του συγκεκριμένου μοντέλου αποδίδεται στο γεγονός ότι συγκεντρώνει διαφορετικά επίπεδα ερμηνείας, συμβάλλοντας έτσι στην όσο το δυνατόν πληρέστερη κατανόηση της δυσλεξίας γραμματισμού (Gathercole & Baddeley, 2014; Nunes & Bryant, 2013). Σύμφωνα με τους Morton και Frith (1995), τα τρία επίπεδα ερμηνείας είναι εξίσου σημαντικά και

αλληλοσυμπληρώνονται, ενώ επιπρόσθετα, δέχονται ότι περιβαλλοντικοί παράγοντες ενδέχεται να επιδρούν σε ένα ή σε όλα αυτά τα επίπεδα.

Θεωρείται ότι οι ειδικοί διαγιγνώσκουν τη δυσλεξία βασιζόμενοι σε συγκεκριμένες συμπεριφορές. Οι Morton και Frith (1995) δίνουν ιδιαίτερη προσοχή στις διαφορές, στα νευροβιολογικά υποστρώματα, μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και τυπικά αναπτυσσόμενων ατόμων δεδομένου ότι η δυσλεξία αποτελεί διαταραχή νευροβιολογικής προελεύσεως. Το βιολογικό επίπεδο περιλαμβάνει δεδομένα από την έρευνα στη γενετική και τις νευροαπεικονιστικές μελέτες του εγκεφάλου. Υπάρχουν στοιχεία από τη μοριακή γενετική ότι ορισμένα κληρονομικά γονίδια (για παράδειγμα, DYX1C1, KIAA0319, DCDC2 και ROBO1) μπορεί να συμβάλλουν στην ανάπτυξη της δυσλεξίας (Fisher & DeFries, 2002; Fisher & Francks, 2006). Επιπρόσθετα, η δυσλεξία είναι μια συγγενής νευροβιολογική διαταραχή που προκαλείται από μη-φυσιολογική εγκεφαλική δομή, ιδίως από μη-φυσιολογικές μεγαλοκυτταρικές οδούς και από μη-φυσιολογική παρεγκεφαλίδα (Shastry, 2007). Αυτές οι εγκεφαλικές ανωμαλίες σχετίζονται με την ερμηνεία αναφορικά με το βιολογικό επίπεδο του πλαισίου.

Σύμφωνα με τους Morton και Frith (1995), η δυσλεξία κατανοείται πληρέστερα όταν στο γνωστικό επίπεδο υπάρχουν ανεπαρκείς μηχανισμοί επεξεργασίας πληροφοριών. Η υπάρχουσα θεωρητική εξήγηση της δυσλεξίας που επικεντρώνεται στο γνωστικό επίπεδο περιλαμβάνει ελλείμματα στη βραχυπρόθεσμη ή λειτουργική μνήμη, τη φωνολογική ενημερότητα, την ελλιπή αυτοματοποίηση και την αργή επεξεργασία (Reid, Soler, & Wearmouth, 2003). Για παράδειγμα, υπάρχει μια γενική συναίνεση για τη θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος, η οποία υποδηλώνει ότι το βασικό έλλειμμα στη δυσλεξία σχετίζεται με τη φωνολογική επεξεργασία (Ramus et al., 2003). Συνολικά, στη θεώρηση των Morton και Frith (1995) τονίζεται η σπουδαιότητα κάθε επιπέδου καθώς και των περιβαλλοντικών παραγόντων κατά την ανάλυση διαφορετικών επεξηγηματικών προσεγγίσεων για τη δυσλεξία. Οι ερευνητές ισχυρίζονται ότι η διερεύνηση των αιτιών της δυσλεξίας στα προτεινόμενα επίπεδα καθώς και οι αιτιώδεις δεσμοί μεταξύ αυτών των επιπέδων θα αποτελέσουν χρήσιμα εργαλεία στην κατανόηση και την εξήγηση αυτής της διαταραχής. Επιπλέον, αυτό το πλαίσιο ενσωματώνει τις δυνητικά διαφορετικές θεωρητικές ερμηνείες της δυσλεξίας, οι οποίες φαίνεται να έρχονται σε σύγκρουση μεταξύ τους με την

πρώτη ματιά. Ένα παράδειγμα αποτελεί η ενσωμάτωση δύο κοινώς αναφερόμενων θεωριών που εξηγούν τη δυσλεξία ως αποτέλεσμα ενός φωνολογικού ελλείμματος και ενός μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος, αντίστοιχα. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος σχετίζεται με το γνωστικό επίπεδο, όπου ελλείμματα στη φωνολογική επεξεργασία αποτελούν την πηγή των αναγνωστικών δυσκολιών μεταξύ των ατόμων με δυσλεξία. Η θεωρία του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος, με τη σειρά της, υποθέτει ότι υπάρχει μεταβολή στο μεγαλοκυτταρικό σύστημα των ατόμων με δυσλεξία, το οποίο επιφέρει δυσκολίες στην ανάγνωση. Αυτή η θεωρία αποδίδεται στο βιολογικό ερμηνευτικό επίπεδο. Από την οπτική γωνία του μοντέλου των Morton και Frith (1995), οι δύο αυτές θεωρίες είναι συμβατές μεταξύ τους και δεν αλληλοαποκλείονται. Οι ερευνητές ισχυρίζονται ότι οι θεωρητικές εξηγήσεις δεν πρέπει να περιορίζονται σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο του πλαισίου: μπορεί να προέρχονται από ένα επίπεδο και να επεκτείνονται σε άλλα.

Λαμβάνοντας υπόψη μια σειρά αιτιακών εξηγήσεων στο βιολογικό και γνωστικό επίπεδο, οι Morton και Frith (1995) υπογραμμίζουν τη σημασία του να συνεκτιμώνται στη διάγνωση της δυσλεξίας όχι μόνο οι συμπεριφορικές εκδηλώσεις, όπως η αδύναμη αναγνωστική ακρίβεια και ταχύτητα, αλλά και στοιχεία μεταβολών στην εγκεφαλική λειτουργία καθώς και ενδεχόμενα γνωστικά ελλείμματα. Σύμφωνα με τους Morton και Frith (1995), οι σύγχρονες θεωρίες της δυσλεξίας μπορούν να μοντελοποιηθούν σε αυτό το πλαίσιο των τριών επιπέδων. Στη συνέχεια εξετάζονται πιο διεξοδικά μερικές από αυτές τις θεωρίες, οι οποίες εξηγούν τις νευρογνωστικές αιτίες της δυσλεξίας.

1.3.1 Η θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 40 ετών, η έρευνα για τη δυσλεξία έχει συγκεντρώσει ισχυρά εμπειρικά δεδομένα τα οποία υποστηρίζουν τόσο τη θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος στη δυσλεξία όσο και των αποτελεσματικών προγραμμάτων παρέμβασης που βασίζονται στη φωνολογική εξάσκηση (Lyon et al., 2003; Fawcett & Nicolson, 1995; Joannis et al., 2000; Ramus, 2003; Snowling, 1995). Η περιγραφή του ελλείμματος φωνολογικής

επεξεργασίας περιλαμβάνει τρία βασικά συστατικά: την αδύναμη φωνολογική ενημερότητα, την αδύναμη λεκτική βραχυπρόθεσμη μνήμη και την αργή λεξική ανάκτηση (Ramus, 2004).

Οι δυσκολίες στη φωνολογική επεξεργασία στα άτομα με δυσλεξία έχουν επαρκώς τεκμηριωθεί (Ramus, 2003; Snowling, 2000; Vellutino et al., 2004). Είναι ιδιαίτερα ανιχνεύσιμες σε δοκιμασίες που απαιτούν φωνολογική ενημερότητα, δηλαδή τη συνειδητή ικανότητα χειρισμού των ήχων της ομιλίας (φωνήματα) και των συνδυασμών τους (συλλαβές) (Ramus, 2004). Έχοντας φτωχή φωνολογική ενημερότητα, τα άτομα με δυσλεξία έχουν δυσκολίες στην εκτέλεση καθηκόντων όπως την καταμέτρηση συλλαβών, τη διαγραφή ή την αντικατάσταση φωνημάτων. Τα ελλείμματα στη φωνολογική επεξεργασία φανερώνονται σε δοκιμασίες που απαιτούν μνήμη φωνολογικών αλληλουχιών (Ramus, 2004). Τα άτομα με δυσλεξία καταδεικνύουν σοβαρές δυσκολίες σε δοκιμασίες που αποσκοπούν στη μνήμη των ακολουθιών ήχων ή γραμμάτων ή στην επανάληψη ψευδολέξεων. Τα ελλείμματα φωνολογικής επεξεργασίας επηρεάζουν τη λεξική ανάκληση, η οποία αναμφισβήτητα αποτελεί μια απαραίτητη αναγνωστική δεξιότητα (Ramus, 2004). Τα άτομα με δυσλεξία δυσκολεύονται επίσης αρκετά στις δοκιμασίες που απαιτούν γρήγορη κατονομασία γραμμάτων ή αντικειμένων. Σύμφωνα με τον Ramus (2004), η φωνολογική ενημερότητα, η λεκτική βραχυπρόθεσμη μνήμη και η λεξική ανάκληση είναι υπεύθυνες για την αναπαράσταση, αποθήκευση και ανάκληση του γλωσσικού υλικού, δηλαδή την επεξεργασία των πληροφοριών σε γνωστικό επίπεδο. Η αποτυχία σε μία ή περισσότερες από αυτές τις δεξιότητες μπορεί να εξηγήσει αρκετά από τα χαρακτηριστικά συμπτώματα της δυσλεξίας.

Όσον αφορά το αιτιώδες μοντέλο που προτείνουν οι Morton και Frith (1995), τα συμπεριφορικά στοιχεία ενός φωνολογικού ελλείμματος σχετίζονται με αλλοιώσεις στο γλωσσικό σύστημα του αριστερού ημισφαιρίου (Démonet, Taylor, & Chaix, 2004). Συγκεκριμένα, υπάρχουν μη φυσιολογικές αποκρίσεις στην αριστερή βρεγματική-κροταφική περιοχή και στην κατώτερη αριστερή κροταφική-ινιακή περιοχή με μειωμένη ενεργοποίηση, στην κατώτερη αριστερή μετωπική περιοχή με αυξημένη ενεργοποίηση τόσο σε φωνολογικές όσο και σε αναγνωστικές δοκιμασίες (Démonet et al., 2004; Hoeft et al., 2006; Shaywitz & Shaywitz, 2005). Είναι σημαντικό ότι οι δυσκολίες στη φωνολογική επεξεργασία δεν σχετίζονται ούτε με ακουστικές βλάβες, όπου ένα άτομο δεν μπορεί να αναπαραγάγει

έναν ήχο λόγω ανεπαρκούς ακοής, ούτε με προβλήματα όρασης που προκαλούνται από σωματικές δυσκολίες στα μάτια.

Το μοντέλο προβλέπει επίσης ότι διάφοροι περιβαλλοντικοί παράγοντες όπως η μέθοδος διδασκαλίας, η ορθογραφία και η αξία που προσδίδεται στον αλφαριθμητισμό, ενδέχεται να επηρεάσουν σε σημαντικό βαθμό την κατάκτηση του γραφήματος-φωνήματος. Για παράδειγμα, ο ορθογραφικός τύπος ίσως επιδρά στην αναπτυξιακή πρόοδο των παιδιών κατά την περίοδο που μαθαίνουν να διαβάζουν (Vellutino et al., 2004). Οι γλώσσες με αδιαφανή ορθογραφία, όπως τα Αγγλικά, δηλαδή, γλώσσες χωρίς σταθερή σχέση μεταξύ γραφήματος-φωνήματος, παρουσιάζουν μια μεγαλύτερη πρόκληση για πολλούς αρχάριους μαθητές σε σύγκριση με τις γλώσσες με διαφανή ορθογραφία, δηλαδή, γλώσσες με σταθερή σχέση μεταξύ γραφημάτων και φωνημάτων, όπως τα Γερμανικά ή τα Ιταλικά. Επιπλέον, οι μέθοδοι διδασκαλίας έχουν αντίκτυπο στην απόκτηση φωνολογικών δεξιοτήτων ενώ και οι κοινωνικές αξίες επηρεάζουν έντονα την απόκτηση του αλφαριθμητισμού.

Η θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος έχει καταστεί η πιο συχνά αναφερόμενη θεωρητική ερμηνεία της δυσλεξίας. Αν και αυτή η θεωρία παρέχει μια λογική εξήγηση της δυσλεξίας, εξακολουθούν να υπάρχουν αντικρουόμενες απόψεις βασισμένες σε ερευνητικά δεδομένα ότι δεν παρουσιάζουν δυσκολίες στη φωνολογική επεξεργασία όλα τα άτομα με δυσλεξία. Στη συνέχεια, θα εξεταστεί ο ρόλος δύο διακριτικών γνωστικών ελλειμμάτων που είναι υπεύθυνα για την επεξεργασία πληροφοριών, δηλαδή, το φωνολογικό έλλειμμα και το έλλειμμα ταχείας κατονομασίας, με βάση τη θεωρία του διπλού ελλείμματος.

1.3.2 Η θεωρία του διπλού ελλείμματος

Ορισμένοι μελετητές υποστηρίζουν την αντίληψη ότι οι δυσκολίες των ατόμων με δυσλεξία δεν σχετίζονται αποκλειστικά ή κυρίως με έλλειμμα στη φωνολογική επεξεργασία (Lovett, Steinbach, & Frijters, 2000; Wimmer, Mayringer, & Landerl, 2000; Wolf & Bowers, 2000). Επομένως, έχει προταθεί η θεωρία του διπλού ελλείμματος, η οποία αποτελεί επέκταση της κυρίαρχης θεωρίας του φωνολογικού ελλείμματος (Wolf & Bowers, 2000). Σύμφωνα με το μοντέλο της θεωρίας του διπλού ελλείμματος (double deficit hypothesis) της Wolf (Wolf & Bowers, 1999), τα άτομα με δυσλεξία μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες: εκείνα με

φωνολογικές δυσκολίες αλλά με μέση (μέσου όρου) ικανότητα ταχύτητας κατονομασίας, εκείνα με ένα έλλειμμα ταχείας κατονομασίας αλλά με φωνολογικές δεξιότητες μέσου όρου, και τα άτομα που χαρακτηρίζονται τόσο από φωνολογικές δυσκολίες όσο και από δυσκολίες ταχείας κατονομασίας. Σύμφωνα με το μοντέλο της Wolf, η τελευταία ομάδα με το διπλό έλλειμμα είναι πιθανόν να παρουσιάσει την πιο σοβαρή μορφή αναγνωστικών δυσκολιών - μια υπόθεση που έχει επιβεβαιωθεί σε μεγάλο βαθμό από εμπειρικές μελέτες τόσο σε μη καθαρές (Wolf, Bowers, & Biddle, 2000) όσο και σε καθαρές γλώσσες (Torppa et al., 2013), αν και έχουν επίσης αναφερθεί αντιθετικά ευρήματα που δείχνουν ότι δε διαπιστώθηκαν διαφορές μεταξύ των παιδιών με διπλό ή μονό έλλειμμα (Vaessen et al., 2009).

Μια σημαντική διατύπωση αυτής της θεωρίας είναι ότι τα άτομα με μονό έλλειμμα ταχείας κατονομασίας απαιτούν επαρκή παρέμβαση, η οποία δεν βασίζεται αποκλειστικά στην εκπαίδευση των φωνολογικών δεξιοτήτων. Πιο συγκεκριμένα, όταν τα άτομα ανήκουν σε γλώσσα με διαφανή ορθογραφία, όπως τα Ιταλικά και τα Γερμανικά, όπου οι δεξιότητες στη φωνολογική επεξεργασία παίζουν λιγότερο σημαντικό ρόλο, τότε η εκπαίδευση των φωνολογικών δεξιοτήτων μπορεί να μην είναι τόσο αποτελεσματική και η ταχύτητα κατονομασίας να αποτελεί ισχυρό προγνωστικό παράγοντα της αναγνωστικής επίδοσης (Nijakowska, 2010). Αξιοσημείωτη είναι η απόδειξη ότι τα άτομα με διπλό έλλειμμα, δηλαδή, με δυσκολίες τόσο στην ακρίβεια όσο και στην ταχύτητα ανάγνωσης, είναι ο πιο υποβαθμισμένος υπότυπος, υποδηλώνοντας έτσι την ανάγκη για μια πιο εντατική παρέμβαση βασισμένη στην εκπαίδευση φωνολογικών δεξιοτήτων και δεξιοτήτων ταχείας κατονομασίας.

Η θεωρία του διπλού ελλείμματος έχει διερευνηθεί αρκετά παρέχοντας ένα σύνολο αποδεικτικών στοιχείων για τις κύριες υποθέσεις της (Lovett et al., 2000; Wolf, Bowers, & Biddle, 2000). Για παράδειγμα, ο Lovett και οι συνάδελφοί του (2000) διεξήγαγαν μια μελέτη σκοπός της οποίας ήταν η κατηγοριοποίηση των αναγνωστικών δυσκολιών των παιδιών ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία ενός φωνολογικού ελλείμματος και ελλείμματος ταχύτητας κατονομασίας (Lovett et al., 2000). Το δείγμα της έρευνας αποτελούνταν από 166 παιδιά ηλικίας 7 έως 13 ετών με σοβαρές αναγνωστικές δυσκολίες. Τα αποτελέσματα φανέρωσαν ότι το 54% του τελικού δείγματος παρουσίασε διπλό έλλειμμα, το 24% είχε μονό έλλειμμα ταχείας κατονομασίας, και το 22% είχε φωνολογικό έλλειμμα. Με βάση τα στοιχεία

που υποστηρίζουν ένα διπλό έλλειμμα σε άτομα με δυσλεξία, ο Wolf και οι συνεργάτες του (2000) υποστηρίζουν τα προγράμματα παρέμβασης για τη δυσλεξία πρέπει να περιλαμβάνουν πρακτικές και στις δύο δεξιότητες (Wolf et al., 2000).

Επιχειρώντας τη θεωρητική ερμηνεία της δυσλεξίας σε σχέση με αλλοιώσεις στον εγκέφαλο, είναι σημαντικό να τονιστεί η σπουδαιότητα των πρώτων ερευνών του δυσλεξικού εγκεφάλου. Ο Geschwind και οι συνεργάτες του (Geschwind & Levitsky, 1968) πρότειναν ότι η παρουσία μικρών εγκεφαλικών ανωμαλιών προκαλούσε μία καθυστερημένη πλευρίωση της γλώσσας, η οποία, με τη σειρά της, οδηγούσε σε διαταραγμένη κατάκτηση της ανάγνωσης. Όπως δήλωσε ο Galaburda (2005) στο άρθρο του, ο Geschwind επιβεβαίωσε την ασυμμετρία του αριστερού-δεξιού ημισφαιρίου στον όγκο του κροταφικού πεδίου στα άτομα με δυσλεξία, και εξήγησε αυτό το εύρημα ως ανεπαρκή ποσότητα εγκεφαλικών ιστών στο αριστερό ημισφαίριο, το οποίο εμπλέκεται σε μεγάλο βαθμό στη γλωσσική επεξεργασία. Ο Geschwind υπέθεσε ότι η ανεπάρκεια εγκεφαλικών ιστών στο αριστερό ημισφαίριο θα μπορούσε να προκληθεί από μια μειωμένη ανάπτυξη γλωσσικών περιοχών στο έμβρυο, ιδιαίτερα κατά τη μετανάστευση νέων νευρώνων στον τελικό προορισμό τους στον εγκέφαλο.

Οι ιδέες του Geschwind διερευνήθηκαν περαιτέρω από τον Galaburda και τους συναδέλφους του (Galaburda, Sherman, Rosen, Aboitiz, & Geschwind, 1985), οι οποίοι ήταν από τους πρώτους που ενδιαφέρθηκαν για την οργάνωση του εγκεφάλου των ατόμων με δυσλεξία. Η ομάδα του Galaburda παρατήρησε νευρικές ανωμαλίες (εκτοπίες), δηλ. μη-φυσιολογική μετανάστευση και αποδιοργάνωση των νευρώνων, σε πολλές περιοχές του δυσλεξικού εγκεφαλικού φλοιού, ειδικά σε γλωσσικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου. Μία εύλογη εξήγηση των εκτοπιών σε συνδυασμό με ένα φωνολογικό έλλειμμα είναι ότι η ανώμαλη νευρική ανάπτυξη είναι πιο έντονη στις γλωσσικές περιοχές του αριστερού ημισφαιρίου, ιδιαίτερα στην περιοχή γύρω από τη σχισμή του Sylvius.

Παρουσιάζει επίσης ενδιαφέρον ότι έχουν υπάρξει αναφορές για διαφορές μεταξύ των δύο φύλων στις κατανομές των εκτοπιών, έτσι ώστε οι εγκέφαλοι των φτωχών γυναικών αναγνώστριών να έχουν λιγότερες και σε διαφορετικά σημεία μικροφλοιικές δυσπλασίες (Galaburda et al., 1985; Humphreys, Kaufmann, & Galaburda, 1990). Αν και ο αριθμός των συμμετεχόντων ήταν περιορισμένος καθώς πρόκειται για δύο μεταθανάτιες έρευνες,

παρατηρήθηκε ότι τόσο στους άντρες όσο και στις γυναίκες με δυσλεξία, ο εγκέφαλος έδειξε συμμετρία του κροταφικού πεδίου. Ωστόσο, παρατηρήθηκε ότι στις γυναίκες υπήρχαν λιγότερες ανωμαλίες, οι οποίες ποικίλλαν ως προς τη θέση τους, σε σύγκριση με τον εγκέφαλο των αντρών με δυσλεξία στους οποίους υπήρχαν κατά κύριο λόγο μικροσκοπικές ανωμαλίες στην αριστερή πλευρά του εγκεφαλικού φλοιού (Humphreys et al., 1990).

Τα ευρήματα από τις πρώιμες μεταθανάτιες έρευνες απέτέλεσαν μια χρήσιμη πλατφόρμα για να ξεκινήσει η νευροεπιστήμη της ανάγνωσης, οπότε και αναπτύχθηκαν οι κατάλληλες *in vivo* τεχνικές όπως η MRI. Κατά την τελευταία δεκαετία τεχνικές νευροαπεικόνισης του εγκεφάλου, όπως η Μαγνητο-Εγκεφαλογραφία (MEG) και η λειτουργική Μαγνητική Τομογραφία (fMRI), έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς για τη διερεύνηση της δυσλεξίας (Baillieux et al., 2009; Buchweitz et al., 2019; Hoeft et al., 2011; Norton, Beach, & Gabrieli, 2014; Shaywitz et al., 2002). Με τη βοήθεια αυτής της τεχνικής, οι ερευνητές είχαν την ευκαιρία να παρατηρήσουν τη δραστηριότητα του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια διαδικτυακών δοκιμασιών. Τα δεδομένα απεικόνισης του εγκεφάλου έχουν τύχει ιδιαίτερης προσοχής προκειμένου να βελτιώσουν την κατανόησή μας για τη δυσλεξία και έχουν προκύψει δύο θεωρητικές εξηγήσεις: η θεωρία της παρεγκεφαλίδας και η θεωρία του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος. Αυτές οι δύο θεωρίες συζητούνται στη συνέχεια.

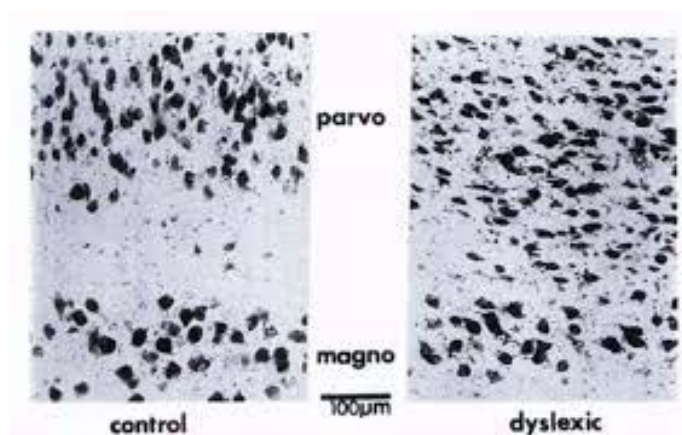
1.3.3 Η μεγαλοκυτταρική θεωρία

Η ανάγνωση περιλαμβάνει γρήγορη και ακριβή οπτική αναγνώριση γραμμάτων και λέξεων. Σύμφωνα με τον Stein (2001), το οπτικό σύστημα, το οποίο διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην αναγνωστική διαδικασία, χωρίζεται σε δύο οδούς/ρεύματα. Η μεγαλοκυτταρική οδός του οπτικού συστήματος μεταφέρει γρήγορες και χαμηλής αντίθεσης οπτικές πληροφορίες και είναι πιο ευαίσθητη στην αντίληψη της κίνησης (Milner & Goodale, 2008), του περιγράμματος των μορφών και στις διαφοροποιήσεις της φωτεινότητας, ενώ η μικροκυτταρική μεταφέρει αργές και υψηλής αντίθεσης οπτικές πληροφορίες και είναι περισσότερο ευαίσθητη στην αντίληψη του χρώματος και της ανάλυσης των λεπτομερειών της μορφής. Κάθε οδός έχει διαφορετικές λειτουργίες και ιδιότητες. Η μεγαλοκυτταρική οδός είναι υπεύθυνη για την ταχεία μετάδοση εισόδου από τον αμφιβληστροειδή προς τις ινιακές

και βρεγματικές περιοχές του εγκεφάλου, και η μικροκυτταρική οδός επεξεργάζεται τις λεπτομέρειες αυτής της εισόδου.

Οι πρώτοι οι οποίοι αναφέρθηκαν σε ένα οπτικό παροδικό έλλειμμα, πλέον γνωστό ως μεγαλοκυτταρικό έλλειμμα, στα άτομα που έχουν δυσλεξία, ήταν οι Lovegrove, Bowling, Badcock and Blackwood, (1980) σε μία μελέτη με αδύναμους αναγνώστες με τη χρήση ημιτονοειδών πλεγμάτων όπου διερεύνησαν τις λειτουργίες ευαισθησίας αντίθεσης, για τις οποίες υπεύθυνο είναι το μεγαλοκυτταρικό σύστημα. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι τα άτομα αυτά είχαν μειωμένη ευαισθησία στις χαμηλές χωρικές συχνότητες και υψηλές κροταφικές συχνότητες. Ωστόσο την τότε εποχή η έρευνά τους δεν βρήκε μεγάλη ανταπόκριση μέχρι το 1991 όταν η Livingstone και οι συνεργάτες της δημοσίευσαν δυο μελέτες, ύστερα από έρευνες που είχαν διεξάγει, υποστηρίζοντας ότι η δυσλεξία είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το οπτικό μεγαλοκυτταρικό έλλειμμα. Πιο συγκεκριμένα η πρώτη μελέτη αφορούσε πέντε ενήλικες με δυσλεξία και επτά ενήλικες χωρίς δυσλεξία, στους οποίους εξετάστηκε η εγκεφαλική δραστηριότητα στα οπτικά ερεθίσματα και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως όταν χορηγούνταν γρήγορα και χαμηλής αντίθεσης οπτικά ερεθίσματα, τότε η αντίδρασή τους χαρακτηριζόταν από κάποια καθυστέρηση σε σχέση με τις αντιδράσεις του εγκεφάλου των ατόμων χωρίς δυσλεξία. Στην δεύτερη μεταθανάτια έρευνα εξέτασαν τους εγκεφάλους πέντε ατόμων με δυσλεξία και πέντε χωρίς δυσλεξία, όπου διαπιστώθηκε ότι στους συμμετέχοντες με δυσλεξία τα μεγαλοκυτταρικά στρώματα του έξω πλευρικού γονατώδη πυρήνα, ο οποίος είναι ο θαλαμικός πυρήνας που μεταδίδει την οπτική εισροή στον οπτικό φλοιό, ήταν περίπου 30% μικρότερα στα άτομα με δυσλεξία και περισσότερο ανοργάνωτα (Livingstone et al., 1991) (Εικόνα 1).

Εικόνα 1. Οι μεγαλοκυτταρικές στιβάδες και μικροκυτταρικές στιβάδες ενός ατόμου χωρίς δυσλεξία (αριστερά) και ενός ατόμου με δυσλεξία (δεξιά) (Galaburda & Livingstone, 1993).



Ακόμη οι Livingstone και Galaburda, (1993) ύστερα από έρευνα που διεξήγαγαν κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα μεγαλοκύτταρα του Κεντρικού Νευρικού Συστήματος των ατόμων με δυσλεξία ήταν μικρότερα σε μέγεθος και αποδιοργανωμένα σε σύγκριση με τα φυσιολογικά άτομα. Αυτό επιβεβαιώθηκε αργότερα σε in-vivo έρευνα από τον Giraldo-Chica et al., (2015) στην οποία συμμετείχαν 13 ενήλικες με δυσλεξία (πέντε κορίτσια και οκτώ αγόρια) και 13 άτομα χωρίς δυσλεξία (τρία κορίτσια και δέκα αγόρια) ηλικίας 22 έως 26 ετών. Στα άτομα αυτά λοιπόν μελετήθηκαν τα μεγαλοκύτταρα του έξω πλευρικού γονατώδη πυρήνα, της μόνης θέσης στον εγκέφαλο που μπορούν να διαχωριστούν τα μεγαλοκύτταρα από τα μικροκύτταρα, με τη μέθοδο δομικής μαγνητικής τομογραφίας. Στα 13 άτομα με δυσλεξία διαπιστώθηκε ότι στον αριστερό έξω πλευρικό γονατώδη πυρήνα οι μεγαλοκυτταρικές στρώσεις ήταν σημαντικά πιο λεπτές από ό,τι ήταν στα άτομα χωρίς δυσλεξία. Αυτή η λειτουργική ασυμμετρία είναι άγνωστη αλλά σίγουρα συμφωνούν με τη μεγαλοκυτταρική θεωρία. Δεν μπορούσε κανείς να παράσχει ισχυρότερες αποδείξεις από αυτό, ότι το οπτικό μεγαλοκυτταρικό σύστημα δεν αναπτύσσεται αρκετά κανονικά σε άτομα με δυσλεξία.

Επιπλέον, οι Cornelissen et al., (2004), έδειξαν ένα άλλο μεγαλοκυτταρικό, παροδικό έλλειμμα σε άτομα με δυσλεξία, την εξασθενημένη ευαισθησία της οπτικής κίνησης ακόμα και σε υψηλές αντιθέσεις και επίπεδα φωτισμού, και αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώθηκε από τις μελέτες με λειτουργική απεικόνιση μαγνητικού συντονισμού (fMRI).

Τα τρία στάδια που περιλαμβάνει η λειτουργία της όρασης συνοπτικά είναι: ο οφθαλμός συλλέγει την οπτική εικόνα με τη βοήθεια του αμφιβληστροειδή, ύστερα το οπτικό νεύρο την επεξεργάζεται- κωδικοποιεί και τη μεταβιβάζει στον εγκέφαλο και τέλος ο εγκέφαλος την ανασχηματίζει και ολοκληρώνει την τελική επεξεργασία για να κατανοηθεί το ερέθισμα. Οι Livingstone και Galaburda (1993) υποστήριξαν ότι στα άτομα με δυσλεξία το δεύτερο στάδιο παρουσίαζε πρόβλημα. Πιο συγκεκριμένα, ανωμαλίες στην μεγαλοκυτταρική οδό επηρέαζαν την ταχύτητα επεξεργασίας των οπτικών πληροφοριών, παρότι τα άτομα δεν παρουσίαζαν τίποτα το παθολογικό στην όραση ή στο οπτικό νεύρο, με αποτέλεσμα να επεξεργάζονται τις οπτικές πληροφορίες με πιο αργό ρυθμό από ό,τι η πλειοψηφία των ανθρώπων (Livingstone & Galaburda, 1993).

Η μειωμένη ικανότητα γρήγορης ανίχνευσης οπτικών ερεθισμάτων μπορεί να οδηγήσει σε οπτικό στρες. Έτσι, τα άτομα με δυσλεξία εκδηλώνουν μια ποικιλία συμπτωμάτων οπτικού στρες, όπως πονοκεφάλους, κόπωση των ματιών, κακή συγκέντρωση, δυσκολία να θυμηθούν τι έχει διαβαστεί, παράλειψη λέξεων και γραμμών κατά την ανάγνωση (Kelly & Phillips, 2016). Επιπλέον, ο Stein et al., (2001) αναφέρουν ότι η μεγαλοκυτταρική περιοχή του οπτικού συστήματος που αποτελεί συμπληρωματική περιοχή του οπτικού φλοιού και είναι σημαντική για την αντίληψη του χρόνου, των οπτικών γεγονότων και του ελέγχου των κινήσεων των ματιών, φαίνεται να δυσλειτουργεί. Αυτός ο ανεπαρκής έλεγχος των κινήσεων των ματιών είναι δυνατόν να οδηγεί σε ασταθή διόφθαλμη εστίαση-καθήλωση με συνέπεια ασταθή όραση. Ο έλεγχος των κινήσεων των ματιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα σήματα των μεγαλοκυττάρων. Ως εκ τούτου, η σχετική μη ευαισθησία των ατόμων με δυσλεξία στην οπτική κίνηση επηρεάζει σημαντικά τον έλεγχο της κίνησης των ματιών τους (Eden et al., 1994, Kirkby et al., 2008). Συγκεκριμένα, η ακρίβεια της προσήλωσης των ματιών τους διακυβεύεται (Fischer & Hartnegg, 2000).

Η σταθερή προσήλωση των γραμμάτων ή λέξεων είναι προφανώς σημαντική για την επιτυχή ανάγνωση και αυτή η προσήλωση εξαρτάται από το μεγαλοκυτταρικό σύστημα που ανιχνεύει τυχόν ανεπιθύμητες κινήσεις των ματιών που διαφορετικά θα προκαλούσαν σύγχυση και περιφορά του κειμένου. Αυτό το σήμα κίνησης τροφοδοτείται στη συνέχεια στο σύστημα του οφθαλμικού κινητήρα, το οποίο το αναιρεί κατευθύνοντας τα μάτια πίσω στο στόχο. Ένα ασθενές σύστημα μεγαλοκυττάρων οδηγεί επομένως σε λιγότερο σταθερή οπτική

προσήλωση, γεγονός που οδηγεί με τη σειρά του στην πιθανότητα να φαίνεται πως οι λέξεις και τα γράμματα μετακινούνται, ένα σύμπτωμα για το οποίο πολλοί δυσλεξικοί διαμαρτύρονται (Harries et al., 2015). Τα δύο μάτια πρέπει επίσης να συγκλίνουν για ανάγνωση, προκειμένου να επικεντρωθούν στο κείμενο. Το σύστημα των μεγαλοκυττάρων εμπλέκεται αποφασιστικά στο πρώτο στάδιο του ελέγχου αυτών των κινήσεων. Είναι ενδιαφέρον ότι το σύστημα ελέγχου της κίνησης των οφθαλμών είναι το πιο ευάλωτο σε φάρμακα και ασθένειες, καθώς γνωρίζουμε το κόστος μας εάν καταναλώσουμε υπερβολικό αλκοόλ. Τα μάτια μας σταματάνε να συγκλίνουν σωστά και τα πράγματα φαίνονται διπλά. Έχει αποδειχθεί πως πολλά άτομα που είναι αδύναμοι αναγνώστες έχουν έναν τέτοιο έλεγχο ασταθούς επέκτασης (Bucci et al., 2007), εξ ου και η τάση να βιώνουν τη διπλωπία. Επιπλέον, η έκταση αυτών των προβλημάτων συσχετίζεται με την μειωμένη ευαισθησία οπτικής κίνησης (Ray et al., 2005). Πράγματι, η ευαισθησία κίνησης σε άτομα προβλέπει ορθογραφική ικανότητα ανάγνωσης σε όλους (Witton et al., 1998).

Επειδή όλες οι κινήσεις των ματιών εξαρτώνται από την ανατροφοδότηση των μεγαλοκυττάρων, η μη ευαισθησία προκαλεί βλάβη σε κάθε είδους κίνηση των ματιών. Για παράδειγμα, όταν τα μάτια εντοπίζουν έναν κινούμενο στόχο (ομαλή αναζήτηση), οι δυσλεξικοί τείνουν να πέφτουν προοδευτικά πίσω από αυτό. Έτσι πρέπει να κάνουν περιοδικά σακκαδικές κινήσεις για να εντοπίσουν τον στόχο. Αυτές οι «σακκαδικές εισβολές» είναι επομένως πολύ συχνότερες στα άτομα με δυσλεξία (Eden et al., 1994). Επίσης, η ακρίβεια των σακκαδικών κινήσεών τους είναι μειωμένη, ακόμη και όταν δε διαβάζουν (Bisaldi & Fischer, 2000).

Ο ρόλος των μεγαλοκυττάρων στην ανάγνωση θεωρείται ότι είναι πολύ σημαντικός για δύο λόγους. Πρώτον διότι το μεγαλοκυτταρικό σύστημα πρέπει να καταστέλλει το μικροκυτταρικό σύστημα την στιγμή της κάθε σακκαδικής κίνησης για να μη δημιουργηθεί κάποια σύγχυση από τις πολλαπλές προσηλώσεις κατά τη διάρκεια της ανάγνωσης. Διαφορετικά χωρίς αυτή την αντίδραση, η μικροκυτταρική δραστηριότητα θα συγχεόταν. Δεύτερον το μεγαλοκυτταρικό σύστημα συμβάλλει στον έλεγχο των κινήσεων των ματιών και κατά συνέπεια στον έλεγχο των σακκαδικών κινήσεων που είναι απαραίτητο για τη διατήρηση της σταθερότητας των ματιών. Χωρίς αυτές τις κινήσεις τα μάτια μας θολώνουν,

δεν μπορούν να παραμείνουν σταθερά, τα γράμματα φαίνονται να κινούνται, προκαλείται δηλαδή, οπτική σύγχυση με αποτέλεσμα να δυσχεραίνεται η ικανότητα ανάγνωσης.

Οι Ebrahimi, Pouretamad, Khatibi και Stein (2019) μελέτησαν τον ρόλο που διαδραματίζει το μεγαλοκυτταρικό σύστημα στην ανάγνωση, καθώς όπως είναι γνωστό το μεγαλοκυτταρικό σύστημα συμβάλλει τόσο στην ταχεία αναγνώριση των γραμμάτων με τη γρήγορη εστίαση της προσοχής του κοιλιακού ρεύματος στο γράμμα που θα ταυτοποιηθεί (Vidyasagar & Pammer, 2010) όσο και στην αλληλουχία τους καταγράφοντας έτσι, το εύρος και τη σειρά των αλλαγών της προσοχής και των κινήσεων του ματιού που γίνονται κατά την επιθεώρηση κάθε λέξης. Συνολικά, στην έρευνα συμμετείχαν 24 άτομα πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης από τα οποία τα 13 είχαν προβλήματα ανάγνωσης και τα υπόλοιπα 11 όχι. Τα παιδιά με προβλήματα ανάγνωσης υποβλήθηκαν σε 12 συνεδρίες οπτικής μεγαλοκυτταρικής εκπαίδευσης, οι οποίες διήρκεσαν 30-40 λεπτά η καθεμία, δύο φορές την εβδομάδα για έξι εβδομάδες. Η ομάδα ελέγχου κλήθηκε να παίξει βιντεοπαιχνίδια ώστε να εξαιρεθεί η αλληλεπίδραση με τον υπολογιστή και να υπάρχει η αλληλεπίδραση μεταξύ εξεταστή και μαθητών. Στο τέλος της έρευνας, επιβεβαιώθηκε ότι στα παιδιά πρωτοβάθμιας εκπαίδευσης με δυσκολίες ανάγνωσης βελτιώθηκε η ανίχνευση κίνησης με συνοχή, καθώς και ο έλεγχος των σακκαδικών κινήσεων των ματιών. Αυτές οι βελτιώσεις συνοδεύτηκαν από αυξημένη ακρίβεια ανάγνωσης και μειωμένα οπτικά σφάλματα. Αντίθετα, στην ομάδα ελέγχου δεν σημειώθηκε κάποια σημαντική αλλαγή. Αυτά τα αποτελέσματα συμφωνούν με πολλές μελέτες οι οποίες έχουν διαπιστώσει ότι η ευαισθησία στην ανίχνευση κίνησης και ο έλεγχος της κίνησης των ματιών, μπορεί να αυξηθεί με επαναλαμβανόμενη έκθεση και πρακτική του μεγαλοκυτταρικού συστήματος με απώτερο σκοπό τη βελτίωση της ανάγνωσης (Qian & Bi, 2015; Chouake et al., 2012; Sabet et al., 2013). Επομένως, μπορεί κάποιος με αυτά να ευρήματα να ισχυριστεί ότι τα μεγαλοκύτταρα διαδραματίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στην ανάγνωση και κάποια τυχόν ανωμαλία σε αυτά είναι αιτία να δημιουργηθούν προβλήματα στις αναγνωστικές δεξιότητες.

Η μεγαλοκυτταρική θεωρία της δυσλεξίας έχει συνδυαστεί και με την υπόθεση του ακουστικού ελλείμματος. Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή πέρα των οπτικών ανωμαλιών, υποστηρίζεται ότι τα δυσλεκτικά άτομα εμφανίζουν ανωμαλίες και στο ακουστικό τους σύστημα, οι οποίες οφείλονται στις ανατομικές ανωμαλίες των κυττάρων της

μεγαλοκυτταρικής οδού. Έτσι, τα άτομα με δυσλεξία δυσκολεύονται να αντιληφθούν χαμηλούς και σύνθετους ήχους, αλλά αντιλαμβάνονται καλύτερα υψηλούς και απλούς ήχους.

Κατά συνέπεια, αρκετοί ερευνητές καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η μεγαλοκυτταρική θεωρία αποτελεί μια θεωρία ενοποίησης τόσο της υπόθεσης της παρεγκεφαλιδικής μειονεξίας, όσο και των υποθέσεων της οπτικής ή ακουστικής μειονεξίας ή αλλιώς μια γενίκευση της οπτικής θεωρίας. Με βάση αυτή, μια γενική αισθητηριακή μεγαλοκυτταρική ανωμαλία η οποία οδηγεί σε δυσκολίες στην επεξεργασία αισθητηριακών πληροφοριών, έχει ως αποτέλεσμα να διαταράσσεται η φυσιολογική μάθηση και επεξεργασία της γλώσσας οδηγώντας σε μαθησιακές δυσκολίες (Stein et al., 2001).

Εκτός από τα οπτικά και ακουστικά ελλείμματα, η θεωρία του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος εξηγεί επίσης το έλλειμμα της παρεγκεφαλίδας στη δυσλεξία (Stein et al., 2001). Λαμβάνοντας υπόψη ότι η παρεγκεφαλίδα λαμβάνει πληροφορίες από το μεγαλοκυτταρικό σύστημα, η παρεγκεφαλίδα επηρεάζεται επίσης από μια γενικότερη μεγαλοκυτταρική δυσλειτουργία. Έτσι, έχει προταθεί η θεωρία του ελλείμματος της παρεγκεφαλίδας, η οποία θα εξεταστεί στη συνέχεια.

1.3.4 Η θεωρία της παρεγκεφαλίδας

Μολονότι υπάρχει μεγάλος πλούτος γνώσεων σχετικά με τη διαταραχή της ανάγνωσης, η έρευνα αποτυγχάνει να δημιουργήσει μια μεγάλη καθολική υπόθεση για τη συγκεκριμένη διαταραχή. Αυτό συμβαίνει διότι οποιοσδήποτε παράγοντας προτάθηκε ότι συμβάλλει στην αιτία των αναγνωστικών δυσκολιών (φωνολογία, μνήμη, γραφή, ακουστική επεξεργασία, δεξιότητες όρασης, ισορροπίας, γενετικοί παράγοντες κ.α.) τα παιδιά με αναγνωστικές δυσκολίες παρουσίασαν ετερογένεια (Fawcett & Nicolson, 2014).

Το ενδιαφέρον στράφηκε στην υπόθεση του φωνολογικού ελλείμματος και του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος προκειμένου να δοθεί μια απάντηση στον λόγο για τον οποίο αποτυγχάνουν να διαβάσουν τα παιδιά που ανήκουν στην ομάδα αυτής της διαταραχής. Παρά τις εκτενείς έρευνες (Nicolson & Fawcett, 1999), ούτε οι συγκεκριμένες

υποθέσεις κατάφεραν να καλύψουν όλες τις πτυχές των δυσκολιών των παιδιών και έτσι παρουσιάστηκε μια νέα εναλλακτική υπόθεση στον ερευνητικό χώρο, όπου πολλά από τα παραπάνω εξηγούνται από το έλλειμμα της παρεγκεφαλίδας.

Η υπόθεση του ελλείμματος της παρεγκεφαλίδας, (Nicolson, Fawcett & Dean, 2001) είναι μια θεωρία η οποία υποστηρίζει ότι οι αναγνωστικές δυσκολίες στα παιδιά που αντιμετωπίζουν την διαταραχή αυτή, είναι πολύ ευρύτερες από το φωνολογικό έλλειμμα και ότι η αιτία αυτών των δυσκολιών είναι η μη φυσιολογική λειτουργία της παρεγκεφαλίδας. Καθώς οι πληροφορίες από τις περιοχές του εγκεφάλου και τις μεγαλοκυτταρικές περιοχές περνούν κατά την επεξεργασία τους από την παρεγκεφαλίδα, η διαφορετική λειτουργία της, μπορεί να επηρεάσει την ικανότητα της ανάγνωσης και να εξηγήσει τους διαφορετικούς βαθμούς των διαταραχών της (Βλάχος, 2010).

Σύμφωνα με ερευνητικά δεδομένα, βλάβη σε διαφορετικά σημεία της παρεγκεφαλίδας μπορούν να οδηγήσουν σε διάφορα συμπτώματα συμπεριλαμβανομένης της έλλειψης καλής στάσης και ισορροπίας του ατόμου και στον αποσυντονισμό της κίνησης (Haines & Manto, 2007). Έτσι η παρεγκεφαλίδα λειτουργεί ως μια κατεχοχήν κινητική περιοχή (Eccles, Ito & Szentagothai, 1967; Stein & Glilckstein, 1992) καθώς επίσης θεωρείται ότι εμπλέκεται στην αυτοματοποίηση των κινητικών δεξιοτήτων και στον προσαρμοστικό έλεγχο εκμάθησης μέσω των παρεγκεφαλιδικών δομών (Jenkins et al., 1994; Krupa, Thompson & Thompson, 1993). Ωστόσο, ορισμένοι ερευνητές παρατήρησαν μέσα από μελέτες, ότι η παρεγκεφαλίδα δεν εμπλέκεται μόνο στις κινητικές περιοχές του εγκεφάλου, αλλά και στην περιοχή του Broca όπου εδράζεται το κέντρο του λόγου (Leiner et al., 1989; Leiner, Leiner & Dow, 1993) καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι εμπλέκεται και στην ικανότητα της γλωσσικής επιδεξιότητας.

Γενικότερα, υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι η παρεγκεφαλίδα εμπλέκεται στη γλώσσα αλλά και στις γνωστικές δεξιότητες. Κατά συνέπεια, όπως αναφέρουν και οι Nicolson, Fawcett και Dean (2001), ένα παρεγκεφαλιδικό έλλειμμα ίσως είναι υπεύθυνο για τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν τα παιδιά με αναγνωστικές διαταραχές.

Στοιχεία που καταδεικνύουν τον πολυδιάστατο ρόλο της παρεγκεφαλίδας που πιθανώς να ερμηνεύει τις αναγνωστικές διαταραχές, προκύπτουν από στοιχεία που επισημαίνουν τη

σημαντική της βαρύτητα στη γλώσσα (Silveri & Misciagna, 2002; Fabbro et al., 2000), αλλά και στην αντίληψη της γλώσσας (Mathiak et al., 2002), συμπεριλαμβανομένης της ανάγνωσης (Fullbright et al., 1999).

Επιπλέον, σύμφωνα με την υπόθεση της παρεγκεφαλίδας, η μειωμένη ταχύτητα άρθρωσης που μπορεί να εμφανίσει ένα παιδί με παρεγκεφαλιδική δυσλειτουργία, μπορεί να οδηγήσει σε λιγότερο αποτελεσματική λειτουργία της εργαζόμενης μνήμης, που είναι ένα από τα χαρακτηριστικά των παιδιών με αναγνωστικές δυσκολίες (Fawcett & Nicolson, 1999). Βασιζόμενοι στα παραπάνω στοιχεία, η ύπαρξη ενός ελλείμματος στην παρεγκεφαλίδα φαίνεται να σχετίζεται και με την μειωμένη ταχύτητα επεξεργασίας που αναφέρεται στην υπόθεση του διπλού ελλείμματος, και σε ελλείματα κινητικής ικανότητας αλλά όχι απαραίτητως σε αισθητηριακά ελλείματα ταχύτητας επεξεργασίας.

Επιπροσθέτως, η συγκεκριμένη θεωρία παρέχει εξηγήσεις για ένα ακόμα χαρακτηριστικό που συχνά συνυπάρχει στα παιδιά με αναγνωστικές διαταραχές και είναι αυτό της δυσκολίας της γραφικής ικανότητας, εφόσον η γραφή θεωρείται μια κινητική δεξιότητα, και απαιτεί ακρίβεια χρόνου και συντονισμό διαφόρων μυϊκών ομάδων, που αποτελούν παρεγκεφαλιδικές λειτουργίες. Με τον ίδιο τρόπο ερμηνεύει και το χαρακτηριστικό του συλλαβισμού που παρατηρείται στους αδύναμους αναγνώστες, ο οποίος σύμφωνα με τους Nicolson et al., (2001), απορρέει από μια υπέρμετρη προσπάθεια στην ανάγνωση, φτωχή φωνημική ενημερότητα και δυσκολίες στον αυτοματισμό των δεξιοτήτων.

Γίνεται εμφανές ότι η υπόθεση του ελλείμματος της παρεγκεφαλίδας θεωρείται ότι ενσωματώνει μέσα της τόσο την υπόθεση του φωνολογικού ελλείμματος, όσο και την υπόθεση του διπλού ελλείμματος (Wolf & Bowers, 1999) η οποία υποστηρίζει ότι τα παιδιά με δυσλεξία εμφανίζουν δυσχέρειες σε δοκιμασίες φωνολογικής ενημερότητας και σε δοκιμασίες ταχείας και αυτοματοποιημένης κατονομασίας.

Συνοπτικά υπάρχουν πολλά ευρήματα που καταδεικνύουν τον ρόλο της παρεγκεφαλίδας στη γλωσσική λειτουργία και στις γνωστικές ικανότητες, (Riva & Giorgi, 2000; Silveri & Misciagna, 2000) και άλλες που υποστηρίζουν την συμβολή της στην διαδικασία της ανάγνωσης (Vlachos, Papathanasiou & Andreou, 2007; Moretti, Bava, Torre, Antonello & Gazzato, 2002). Επιπλέον άλλες μελέτες καταθέτουν στοιχεία που αναφέρουν ότι ορισμένος αριθμός

παιδιών με διαταραχή της ανάγνωσης παρουσιάζει στοιχεία παρεγκεφαλιδικής δυσλειτουργίας, όπως προβλήματα στον συντονισμό των κινήσεων, στην ισορροπία του σώματος, στον τόνο των μυών, στις κινήσεις των άκρων ή στην εκτίμηση του χρόνου (Fawcett & Nicolson, 1999; Kasselimis, Margarity & Vlachos, 2008).

Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η υπόθεση του ελλείμματος της παρεγκεφαλίδας υποστηρίζεται και από πολλές μελέτες ανατομικής (MRI) και λειτουργικής (fMRI) απεικόνισης του εγκεφάλου καταδεικνύοντας μορφολογικές και μεταβολικές διαφοροποιήσεις στην παρεγκεφαλίδα των ατόμων με δυσλεξία καθώς και διαταραγμένο πρότυπο παρεγκεφαλιδικής ασυμμετρίας, τα οποία σχετίζονται με διαφοροποιημένες επιδόσεις σε αναγνωστικές και κινητικές δραστηριότητες (Brown et al., 2001; Leonard et al., 2001).

Νευροφυσιολογικές μελέτες παραθέτουν ενδείξεις για παρεγκεφαλιδικές δυσλειτουργίες στην ομάδα των παιδιών με αναγνωστικές δυσκολίες. Οι Moretti et al., (2002) ανέφεραν στα αποτελέσματα της έρευνάς τους έναν αυξημένο αριθμό αναγνωστικών λαθών σε ενήλικες με βλάβες στο σκώληκα της παρεγκεφαλίδας. Οι Brunswick et al., (1999) κατέδειξαν στοιχεία για μειωμένη παρεγκεφαλιδική ενεργοποίηση κατά την διάρκεια αναγνωστικών και φωνολογικών δοκιμασιών στους ενήλικες με δυσλεξία, σε σχέση με τους τυπικούς αναγνώστες. Τέλος οι Riva και Giorgi (2000) αναφέρθηκαν σε λεκτικά και γλωσσικά ελλείμματα και αδυναμίες σε δοκιμασίες κατονομασίας σε παιδιά με παρεγκεφαλικούς όγκους.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η θεωρία της παρεγκεφαλίδας λειτουργεί σε επίπεδο νευρικών συστημάτων, παρά σε γνωστικό επίπεδο. Έτσι, αντί να ανταγωνίζεται με θεωρίες, όπως αυτή του φωνολογικού ελλείμματος, η θεωρία της παρεγκεφαλίδας επιδιώκει να εξηγήσει τους λόγους για τους οποίους προκύπτουν αυτές οι γνωστικού-επιπέδου δυσκολίες. Ωστόσο, αυτή η εξήγηση είναι αμφιλεγόμενη (Bishop, 2002), και ενώ είναι αποδεκτό από μερικούς ερευνητές ότι η δυσλειτουργία της παρεγκεφαλίδας μπορεί να ενοχοποιηθεί για ένα ποσοστό φτωχών αναγνωστών, εξακολουθεί να μην υπάρχει σαφήνεια για τους εμπλεκόμενους μηχανισμούς και εξακολουθεί να υπάρχει η πεποίθηση ότι η δυσλειτουργία της παρεγκεφαλίδας είναι απίθανο να αποτελεί την πρωταρχική αιτία της δυσλεξίας (Stoodley & Stein, 2011, 2013).

Η θεωρία της παρεγκεφαλίδας καθώς και η θεωρία του μεγαλοκυτταρικού ελλείμματος εξηγούν το φωνολογικό έλλειμμα που προκαλείται από ένα γενικό έλλειμμα χρονικής επεξεργασίας, υποδηλώνοντας έτσι ότι η παρέμβαση στο αισθητηριακό επίπεδο μπορεί επίσης να είναι χρήσιμη (Tallal et al., 1996). Συμπερασματικά, η υπόθεση του ελλείμματος της παρεγκεφαλίδας παρέχει σημαντικές ενδείξεις που υποστηρίζουν την υπόθεση αυτή, όμως η περαιτέρω διερεύνηση και ανάλυσή της εξακολουθεί να κρίνεται απαραίτητη.

1.4 Η ΕΑΔ στον ενήλικο πληθυσμό

Η δυσλεξία είναι μια διαταραχή που παραμένει μέχρι την ενηλικίωση, ωστόσο οι μελέτες σε ενήλικες με δυσλεξία είναι ελάχιστες σε σύγκριση με τις μελέτες σε παιδιά με δυσλεξία. Ένα άτομο που έχει διαγνωστεί με δυσλεξία στην παιδική ηλικία συνήθως παραμένει δυσλεξικό καθόλη τη διάρκεια της ζωής του (Hatcher, Snowling, & Griffiths, 2002; Pammer, 2014). Τα άτομα με δυσλεξία αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην απόκτηση των αναγνωστικών δεξιοτήτων και των σχετικών γνωστικών δεξιοτήτων - δυσκολίες που παραμένουν ως και την ενηλικίωση.

Επομένως, αυτά τα άτομα κινδυνεύουν καταρχάς να αναπτύξουν πρωτογενή συμπτώματα που αφορούν στις αναγνωστικές δυσκολίες και δυσκολίες στη γραφή των ενηλίκων με δυσλεξία. Παρατηρούνται δυσκολίες παρόμοιες με εκείνες των παιδιών με δυσλεξία, όπως η φτωχή οργάνωση στην έκφραση, η περιορισμένη αναγνωστική ευχέρεια και η αργή ταχύτητα γραφής (Elliot & Grigorenko, 2014). Πολύ σπάνια επιθυμούν να διαβάσουν από ευχαρίστηση καθώς δυσκολεύονται αρκετά στην ανάγνωση, με αποτέλεσμα να προτιμούν έναν άλλον τρόπο μάθησης, πλην του διαβάσματος. Στον εργασιακό χώρο έχει διαπιστωθεί ότι οι δυσκολίες στην βραχύχρονη μνήμη που χαρακτηρίζουν τη δυσλεξία επηρεάζουν την οργάνωση, τη διαχείριση χρόνου, την κοινωνική επικοινωνία, την οργάνωση ιδεών, την ανάγνωση και τη γραφή (McLoughlin & Leather, 2013). Τέτοιες δυσκολίες μπορεί να οδηγήσουν σε συμπεριφορές όπως το να ξεχάσουν ένα ραντεβού, να χάσουν έναν αριθμό τηλεφώνου και να μην είναι συνεπείς στις υποχρεώσεις τους. Άτομα με σοβαρό βαθμό δυσκολιών ενδεχομένως να χρήζουν μεγαλύτερης βοήθειας με την οργάνωση σε εξωτερικούς χώρους, αλλά σπάνια είναι θετικοί στο να τους βοηθήσει κάποιος.

Εκτός όμως από τα πρωτογενή συμπτώματα, ενήλικες με δυσλεξία ενδέχεται να αναπτύξουν δευτερογενή συναισθηματικά και συμπεριφορικά προβλήματα. Μεγαλώνοντας σε ένα απαιτητικό περιβάλλον, στο οποίο η ικανότητα γλωσσικής έκφρασης και κατανόησης γενικών καθημερινών δραστηριοτήτων είναι απαραίτητα, τα ενήλικα άτομα με δυσλεξία μπορεί, εύλογα, να νιώθουν συντετριμμένα εξαιτίας της ανικανότητας τους να «φτάσουν» τους συνομήλικους τους. Αυτές οι καθημερινές δυσκολίες συντελούν στην δημιουργία ψυχολογικής πίεσης των ενηλίκων, με αποτέλεσμα να αρνούνται συχνά τις δυσκολίες τους και να διακατέχονται από συναισθήματα κατωτερότητας, ανικανότητας και μειωμένης αυτοπεποίθησης. Επιπλέον, η συνήθης αντιπαθητική συμπεριφορά των άλλων ανθρώπων υπονομεύει την αυτοπεποίθησή τους και συμβάλλει στην ανάπτυξη χαμηλής αυτοεκτίμησης (Gerber, 2012; Watson & Boman, 2005).

Ενώ οι μελέτες με παιδιά είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της ανάπτυξης δεξιοτήτων πρώιμης ανάγνωσης και των γνωστικών ικανοτήτων που αποτελούν προβλεπτικούς δείκτες για την ανάγνωση, δεν παρέχονται πληροφορίες σχετικά με τη μακροπρόθεσμη σταθερότητα των αναγνωστικών ελλειμμάτων και το πραγματικό προφίλ των ενηλίκων με δυσλεξία (Miller-Shaul, 2005). Ως εκ τούτου, στις μελέτες με παιδιά δεν καθίστανται σαφή τα ελλείμματα τα οποία επιμένουν να υφίστανται και στην ενήλικη ζωή και σε πολλές περιπτώσεις οι δυσκολίες μπορεί να αντισταθμιστούν μετά από χρόνια τυπικής σχολικής εκπαίδευσης και ενδεχόμενης παρέμβασης. Έτσι, οι μελέτες σχετικές με τους ενήλικες με δυσλεξία μπορεί να αποτελέσουν ένα πολύτιμο εργαλείο για την περαιτέρω κατανόηση του τρόπου που εκδηλώνεται η δυσλεξία μακροπρόθεσμα.

Επιπλέον, ένα σημαντικό ερώτημα που μπορεί να απαντηθεί μέσω της μελέτης των ενηλίκων με δυσλεξία είναι πώς ορισμένα άτομα καταφέρνουν τελικά να αποκτήσουν αντίστοιχες με την ηλικία τους αναγνωστικές δεξιότητες παρά το ιστορικό δυσκολιών στην ανάγνωση και την ορθογραφία ενώ άλλα άτομα δεν φτάνουν σε αυτό το επίπεδο (Lefly & Pennington, 1991; Cavalli et al., 2017; Eloranta, Närhi, Eklund, Ahonen, & Aro, 2019). Ενδεχομένως μία πρώτη απάντηση σε αυτό το ερώτημα θα μπορούσε να δοθεί αν γνωρίζαμε τα γνωστικά χαρακτηριστικά αυτού του πληθυσμού. Για παράδειγμα, οι Cavalli et al. (2017) προσπάθησαν να καταλάβουν σε ποιες γλωσσικές δεξιότητες μπορεί να βασίζονται τα άτομα με δυσλεξία για να αντισταθμίσουν τα ελλείμματά τους. Τα ευρήματα των ερευνών φανερώνουν την

ύπαρξη φωνολογικών ελλειμμάτων αλλά όχι αδυναμίες σε μορφολογικές δεξιότητες, υποδηλώνοντας ότι τα ενήλικα άτομα και ιδιαίτερα όταν σπουδάζουν στην τριτοβάθμια εκπαίδευση ενδεχομένως αντισταθμίζουν τις όποιες αναγνωστικές δυσκολίες τους χρησιμοποιώντας τις ήδη αποκτημένες μορφολογικές γνώσεις. Καθίσταται, λοιπόν, αρκετά σημαντικό να κατανοηθεί και σκιαγραφηθεί το προφίλ των δυνατοτήτων και των αδυναμιών αυτών των ατόμων βάσει και του στατιστικού γεγονότος ότι ο αριθμός των φοιτητών με δυσλεξία συνεχώς αυξάνεται στα ανώτατα εκπαιδευτικά ιδρύματα (Pino & Mortari, 2014).

Τα διαθέσιμα ευρήματα από τη σύγχρονη βιβλιογραφία υποδηλώνουν ότι τα προβλήματα στην αναγνωστική ευχέρεια και την ορθογραφία είναι οι σημαντικότεροι δείκτες δυσλεξίας στην ενηλικίωση (Nergård-Nilssen & Hulme, 2014). Από την άλλη πλευρά, ορισμένες μελέτες δείχνουν ότι οι ενήλικες με δυσλεξία εξακολουθούν να διαφέρουν σημαντικά από αυτούς που δεν έχουν δυσλεξία όσον αφορά αρκετές γνωστικές δεξιότητες, όπως τη φωνολογική βραχυπρόθεσμη μνήμη, τη φωνολογική ενημερότητα και την επεξεργασία ολόκληρης της λέξης (Tamboer et al., 2016; Swanson & Hsieh, 2009).

Χρειάζεται να σημειωθεί ότι οι περισσότερες έρευνες αφορούν μελέτες όπου η κύρια γλώσσα είναι τα Αγγλικά, μια γλώσσα με αδιαφανή ορθογραφία. Ιδιαίτερα κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες υπάρχουν ενδείξεις ότι η ορθογραφική διαφάνεια διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη των αναγνωστικών δεξιοτήτων όσο και τον τρόπο με τον οποίο εκδηλώνονται οι αναγνωστικές δυσκολίες (Landerl et al., 2013; Share, 2008). Διαπολιτισμικές έρευνες έχουν επικεντρωθεί στο βαθμό που επιδρά η ορθογραφική συνέπεια στους προγνωστικούς δείκτες ανάγνωσης (π.χ. Caravolas, Lervåg, Defior, Seidlová Málková, & Hulme, 2013; Moll et al., 2014; Vaessen et al., 2010; Ziegler et al., 2010). Είναι αναμενόμενο ότι τα κύρια ελλείμματα της δυσλεξίας θα ήταν λιγότερο εμφανή στις ορθογραφίες όπου η πρόσβαση στον γραπτό κώδικα είναι πιο απλή. Σε πιο διαφανείς ορθογραφίες, η εκμάθηση ενός περιορισμένου αριθμού γραφημάτων - αντιστοιχιών φωνημάτων διευκολύνει την ανάγνωση ενός μεγάλου αριθμού λέξεων, ακόμη και χωρίς προηγούμενη επαφή με τη λέξη, ενώ σε αδιαφανείς ορθογραφίες, τα άτομα πρέπει να μάθουν και να αποθηκεύσουν μεγαλύτερο αριθμό γραφήματος - φωνή μονάδες έτσι ώστε να μπορούν να διαβάζουν και να γράφουν αποτελεσματικά.

Συνολικά, φαίνεται λοιπόν ότι ενώ οι ενήλικες με δυσλεξία από πιο αδιαφανείς ορθογραφίες εξακολουθούν να δυσκολεύονται με την αναγνωστική ακρίβεια (τόσο σε επίπεδο λέξεων όσο και ψευδολέξεων), όλοι οι ενήλικες με δυσλεξία, ανεξάρτητα από τη διαφάνεια του ορθογραφικού κώδικα, παρουσιάζουν προβλήματα στην ταχύτητας ανάγνωσης τα οποία καθίστανται πιο εμφανή σε δοκιμασίες αποκωδικοποίησης. Προηγούμενες έρευνες σε διαφορετικές γλώσσες επιβεβαιώνουν αυτά τα αποτελέσματα όπως τα Φιλανδικά (Lyytinen, Aro, & Holopainen, 2004), τα Ιταλικά (Zoccolotti et al., 1999), τα Ολλανδικά (Yap & van der Leij, 1993) και τα Εβραϊκά (Breznitz, 1997).

1.4.1 Τα βασικά ελλείμματα δυσλεξίας που επιμένουν στον ενήλικο πληθυσμό

Οι βιβλιογραφικές έρευνες συμφωνούν γενικότερα ότι οι ενήλικες με δυσλεξία παρουσιάζουν ελλείμματα στη φωνολογική ενημερότητα, την έλλειψη αναγνωστικής ευχέρειας και την αδύναμη αναγνωστική λεκτική ακρίβεια. Η φωνολογική ενημερότητα εμπλέκεται στην απόκτηση του αλφαβητικού κώδικα και μεσολαβεί στη φωνηματικογραφημική αντιστοιχία. Ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι τα ενήλικα άτομα με δυσλεξία έχουν χαμηλή επίδοση σε μετρήσεις φωνολογικής ενημερότητας σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου με παρόμοια επίπεδα βαθμού (Boets et al., 2013; Callens, Tops, & Brysbaert, 2012). Επιπλέον, έχει διαφανεί ότι η αναγνωστική ακρίβεια είναι πιο αδύναμη σε άτομα με δυσλεξία (Leinonen et al., 2001; Judge, Caravolas, & Knox, 2006), ειδικά σε αναγνώστες αδιαφανών ορθογραφιών (Callens et al., 2012). Τέλος, έχουν αναφερθεί προβλήματα αναγνωστικής ευχέρειας σε ενήλικες με δυσλεξία, καθώς και δυσκολίες στην ανάγνωση ψευδολέξεων (Bruck, 1992; Hatcher et al., 2002; Nergård-Nilssen & Hulme, 2014; Parrila, Georgiou, & Corkett, 2007; Shaywitz et al., 1999; Suárez-Coalla & Cuetos, 2015). Στις παραπάνω ερευνητικές προσπάθειες φάνηκε ότι η ανάγνωση των ενηλίκων με δυσλεξία αποτελεί μία αργή και επίπονη διαδικασία, ενώ ταυτόχρονα παρουσιάζουν δυσκολίες στην αποκωδικοποίηση πολυσύλλαβων λέξεων, καθώς και συχνών ορθογραφικών σφαλμάτων (Suárez-Coalla & Cuetos, 2015). Μια άλλη σημαντική πτυχή της αναγνωστικής ευχέρειας αποτελεί η χρήση κατάλληλης προσωδίας (Kuhn, Schwanenflugel, & Meisinger, 2010). Η προσπάθεια που απαιτείται για την αποκωδικοποίηση λέξεων μπορεί να αποτρέψει τα άτομα από τη χρήση κατάλληλων μοτίβων προσωδίας κατά την ανάγνωση, τα οποία

μπορούν να οδηγήσουν σε διαταραχές στην κατανόηση (Alves, Reis, Pinheiro, & Capellini, 2009).

Ένα παρόμοιο μοτίβο έχει εμφανιστεί και στον γραπτό λόγο (Bowers & Wolf, 1993), όπου ενώ πολλοί φοιτητές με δυσλεξία παρουσίαζαν ακρίβεια στην κωδικοποίηση λέξεων και γραμμάτων, η ταχύτητα γραφής τους ήταν χαμηλότερη από την αναμενόμενη (Berninger et al., 2008). Έρευνες που έχουν μελετήσει αυτήν την αδυναμία στο γραπτό λόγο έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι αυτή τους η αδυναμία γραφής επηρεάζει τους φοιτητές με δυσλεξία ως προς την ικανότητα λήψης σημειώσεων σε μια διάλεξη (Mortimore & Crozier, 2006; Re, Tressoldi, Cornoldi, & Lucangeli, 2011).

Συνοψίζοντας, αυτές οι μελέτες έχουν διαπιστώσει ότι τα βασικά ελλείμματα μπορεί να εξακολουθούν να εντοπίζονται σε ενήλικες, ανεξάρτητα από τη βαθμίδα εκπαίδευσης (σε κάποιο βαθμό) (Suárez-Coalla & Cuetos, 2015). Ωστόσο, εξακολουθεί να υπάρχει διαφωνία σχετικά με το εάν η αναγνωστική κατανόηση επηρεάζεται επίσης σε ενήλικες με δυσλεξία, όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

1.4.2 Μια εξήγηση για τα ελλείμματα αναγνωστικής κατανόησης

Σύμφωνα με την ευρέως διαδεδομένη άποψη της γνωστικής επεξεργασίας όπως περιγράφεται τόσο στη θεωρία της λεκτικής αποτελεσματικότητας (Perfetti, 1985, 1988) όσο και στην πιο «καθημερινή» αντίληψη σχετικά με την ανάγνωση (Gough, Hoover, & Peterson, 1996; Hoover & Gough, 1990), η αναποτελεσματικότητα στο κατώτερο επίπεδο της αναγνωστικής διαδικασίας ενδέχεται να προσθέσει περισσότερο φόρτο στη μνήμη εργασίας. Αυτή η γνωστική υπερφόρτωση είναι συνέπεια πιο αδύναμων μηχανισμών που απαιτούνται για διαδικασίες υψηλότερου επιπέδου που εμπλέκονται στην κατανόηση κειμένου, όπως η εξαγωγή νοήματος από τις λέξεις και τις προτάσεις, προκειμένου να προχωρήσει η επεξεργασία της λογικοπροτασιακής σημασίας (Im & Lombardino, 2016; Kintsch & Walter Kintsch, 1998). Σε περιπτώσεις που δεν επιτυγχάνεται συνέχεια και συνοχή κειμένου, οι αναγνώστες θα πρέπει να καταφύγουν σε άλλους μηχανισμούς ώστε να επιτύχουν επαρκή επίπεδα κατανόησης (Graesser, 2007). Οι δεξιότητες λεκτικής κατανόησης έχουν βρεθεί ότι ρυθμίζουν την επίδραση της αποκωδικοποίησης στην αναγνωστική κατανόηση (García &

Cain, 2014; Uccelli et al., 2015), γεγονός που αναδεικνύει την πιθανότητα ότι και άλλες μεταβλητές μπορεί να επιτελούν παρόμοιο αντισταθμιστικό ρόλο (Ransby & Swanson, 2003). Επιπλέον, μελέτες που συγκρίνουν ενήλικες με δυσλεξία με τυπικούς αναγνώστες σε συνδυασμό με την ηλικία και το επίπεδο εκπαίδευσης έχουν βρει ότι η λεκτική κατανόηση μπορεί να αποτελεί μία αντισταθμιστική μεταβλητή σε ελλείμματα στην αναγνώριση λέξεων.

Ως εκ τούτου, οι Lefly και Pennington (1991) υπολόγισαν ότι περίπου το ένα τέταρτο των φοιτητών με δυσλεξία θα αντισταθμίσει τελικά τις αρχικές τους δυσκολίες, μια υπόθεση που έχει λάβει μερική εμπειρική υποστήριξη, όπως φαίνεται και στη βιβλιογραφία (Bruck, 1990). Οι Ransby και Swanson (2003) εξέτασαν ενήλικες με δυσλεξία και βάσει της χρονολογικής τους ηλικίας και του αναγνωστικού τους επιπέδου επιχείρησαν να αξιολογήσουν διεργασίες υψηλότερου και κατώτερου επιπέδου χρησιμοποιώντας μια ιεραρχική ανάλυση παλινδρόμησης. Οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι οι διεργασίες τόσο του υψηλότερου όσο και κατώτερου επιπέδου εξηγούσαν σημαντικό βαθμό διακύμανσης στην αναγνωστική κατανόηση. Είναι ενδιαφέρον επίσης ότι οι δεξιότητες προφορικού λόγου βρέθηκαν επίσης να επηρεάζουν την αναγνωστική κατανόηση, πέρα από την ακρίβεια και την ευχέρεια.

Τέλος, οι García και Cain (2014) πραγματοποίησαν μια μετα-αναλυτική μελέτη στην οποία διαπίστωσαν ότι, παρόλο που οι δεξιότητες αποκωδικοποίησης προέβλεπαν την αναγνωστική κατανόηση καθ 'όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης του γραμματισμού (συμπεριλαμβανομένων των δειγμάτων σε φοιτητές πανεπιστημίου), ο βαθμός αυτής της επίδρασης αρχίζει να μειώνεται από την ηλικία των 11 ετών. Επομένως, εάν οι επιδράσεις της αποκωδικοποίησης μειώνονται με την πάροδο του χρόνου, φαίνεται ότι η αναγνωστική εμπειρία και η έκθεση στον γραπτό λόγο (Stanovich, 1986) μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία για την κατανόηση του δυνητικού αντισταθμιστικού ρόλου των δεξιοτήτων υψηλότερου επιπέδου. Έτσι υπογραμμίζεται η σημασία της μελέτης ενηλίκων με δυσλεξία που έχουν υψηλό μορφωτικό επίπεδο, και οι οποίοι είχαν μια διαρκή ενασχόληση με την αναγνωστική διαδικασία σε όλη την ακαδημαϊκή τους ζωή.

Το καίριο ζήτημα, επομένως, δεν είναι εάν ο προφορικός λόγος αντισταθμίζει τις αναγνωστικές δεξιότητες κατώτερου επιπέδου, αλλά κατά πόσο οι ενήλικες με δυσλεξία, ειδικά εκείνοι με υψηλό επίπεδο εκπαίδευσης, μπορούν να επιτύχουν παρόμοια επίπεδα αναγνωστικής κατανόησης με τους τυπικούς αναγνώστες παρά τα επίμονα βασικά

ελλείμματα (αποκωδικοποίηση). Σε κάθε περίπτωση, είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ποιες είναι οι προκλήσεις και οι δυσκολίες στην αναγνωστική διαδικασία στους ενήλικες με δυσλεξία έναντι των τυπικών αναγνωστών.

1.4.3 Οι δυσκολίες στη διαχείριση ακαδημαϊκού κειμένου

Η αναγνωστική κατανόηση ακαδημαϊκών ή πληροφοριακών κειμένων που στοχεύουν στην παρουσίαση νέων πληροφοριών ενός σύνθετου και άγνωστου θέματος, απαιτεί την απόκτηση δεξιοτήτων οι οποίες συνήθως δεν είναι απαραίτητες για τον χειρισμό ενός κειμένου που μπορεί κανείς να συναντήσει στην καθημερινότητά του (Meyer, 1975; Duke & Roberts, 2010) και στο οποίο (κείμενο) οι βασικές δεξιότητες που απαιτούνται είναι η αποκωδικοποίηση και η προφορική κατανόηση του κειμένου.

Οι φοιτητές, ωστόσο, πρέπει να αποκτήσουν ένα σύνολο πολύπλοκων στρατηγικών, όπως η σύνοψη, η επιλογή, η οργάνωση και η αναθεώρηση των πληροφοριών του κειμένου (McNamara, 2007, Snow, 2002). Αναπτύσσουν επίσης την ικανότητα να χρησιμοποιούν και να εφαρμόζουν ρητορικούς μηχανισμούς στο γραπτό κείμενο οι οποίοι, αφενός, φανερώνουν τις επικοινωνιακές προθέσεις του συγγραφέα, και, αφετέρου, λειτουργούν ως η βάση για την ενεργοποίηση τέτοιων στρατηγικών μόλις απαιτηθούν κατά την ανάγνωση κειμένου (Sánchez & García, 2009; Sánchez, García, & Bustos, 2017). Επομένως, χωρίς τέτοιες στρατηγικές, η διαχείριση των σύνθετων και άγνωστων πληροφοριών που παρέχονται από ένα κείμενο δεν θα ήταν δυνατή.

Τα άτομα που λειτουργούν ως καλοί αποκωδικοποιητές με ικανοποιητικό επίπεδο προφορικής κατανόησης μπορεί να αποτύχουν στη διαχείριση πληροφοριακών κειμένων. Ενδεχομένως, μπορεί να μην εντοπίζουν εκείνα τα βοηθητικά στοιχεία του κειμένου και, κατά συνέπεια, να μην μπορούν να χρησιμοποιήσουν ή να μη διαθέτουν αυτές τις στρατηγικές (Gersten, Fuchs, Williams, & Baker, 2001; Sánchez, García, & Bustos, 2017). Ως εκ τούτου, οι ενήλικες με δυσλεξία με ανώτερο μορφωτικό επίπεδο θα μπορούσαν να ανήκουν σε ένα τέτοιο αντιθετικό σενάριο: να έχουν αδύναμες δεξιότητες αποκωδικοποίησης, αλλά να μπορούν να χρησιμοποιήσουν τη δομική στρατηγική ως οδηγό για την αναζήτηση συγκεκριμένων πληροφοριών («Θα μάθω σε αυτήν την παράγραφο ποια

είναι η αιτία .. "), αντισταθμίζοντας έτσι την φτωχή αναγνώριση των λέξεων. Είναι ενδιαφέρον ότι οι Corkett, Parrila και Hein (2006) διαπίστωσαν ότι οι φοιτητές με δυσλεξία - αλλά όχι οι μαθητές λυκείου — αναφέρουν μεγαλύτερη χρήση οργανωτικών στρατηγικών από τους τυπικούς αναγνώστες.

1.4.4 Η επιμονή των ελλειμμάτων κατανόησης στους ενήλικες με δυσλεξία

Όπως έγινε φανερό, τα ευρήματα σχετικά με τα επίμονα ελλείμματα αναγνωστικής κατανόησης σε ενήλικες με δυσλεξία δεν είναι αδιάσειστα. Οι Ransby και Swanson (2003) μελέτησαν μια ομάδα 20 νεαρών ενηλίκων που είχαν παρακολουθήσει ένα ειδικό δημοτικό σχολείο για την αντιμετώπιση της αναπτυξιακής δυσλεξίας σε σύγκριση με δύο ομάδες ελέγχου, όπου στη μία ομάδα ελέγχου υπήρχαν άτομα της ίδιας ηλικίας και κοινωνικο-οικονομικής κατάστασης, και στην άλλη υπήρχαν παιδιά ηλικίας 12 ετών. Σε αυτές τις τρεις ομάδες πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις σε μετρήσεις φωνολογικής επεξεργασίας, ταχύτητας κατονομασίας, μνήμης εργασίας, γενικών γνώσεων, λεξιλογίου και κατανόησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη έρευνα δεν αναφέρει το εκπαιδευτικό επίπεδο των ενηλίκων συμμετεχόντων. Δεν παρατηρήθηκαν διαφορές στις αναγνωστικές δεξιότητες κατώτερου επιπέδου, στην ευχέρεια ή στην αναγνωστική κατανόηση μεταξύ των ατόμων της ομάδας ελέγχου και των ενηλίκων με δυσλεξία. Ωστόσο, η τελευταία ομάδα σημείωσε καλύτερα σκορ από την ομάδα των παιδιών σε μετρήσεις λεξικής επεξεργασίας, μνήμης εργασίας και ακουστικής κατανόησης, όταν η αναγνώριση λέξεων και η νοημοσύνη αποκλείστηκαν από την ανάλυση.

Οι Simmons και Singleton (2000) έδωσαν μια δοκιμασία αναγνώρισης λέξεων σε δέκα φοιτητές με δυσλεξία με αντίστοιχο αριθμό τυπικών φοιτητών προκειμένου να εντοπιστούν τυχόν διαφορές στην αναγνωστική κατανόηση. Οι ομάδες δεν διέφεραν ως προς την επίδοσή τους σε ερωτήματα με κυριολεκτική σημασία, αν και οι συμμετέχοντες με δυσλεξία είχαν μεγαλύτερη δυσκολία με την εξαγωγή συμπερασμάτων, καθώς και φτωχότερες δεξιότητες αποκωδικοποίησης σε σχέση με την ομάδα ελέγχου.

Αν και όπως φαίνεται από τις προαναφερθείσες μελέτες οι δυσκολίες στην αναγνωστική κατανόηση μπορεί να επιμένουν και στην ενήλικη ζωή, υπάρχουν και άλλες έρευνες που

διαπίστωσαν ότι παρά τις δυσκολίες στη φωνολογική ενημερότητα, την ακρίβεια και την ευχέρεια, αυτά τα άτομα μπορεί να μην εμφανίζουν πάντα προβλήματα στην αναγνωστική κατανόηση.

Οι Parrila, Georgiou και Corkett (2007) αξιολόγησαν τη σημασία των δοκιμασιών κατανόησης χωρίς χρονομέτρηση. Οι συγγραφείς αξιολόγησαν τόσο τις διεργασίες κατώτερου επιπέδου (την ανάγνωση λέξεων και ψευδολέξεων, την ορθογραφία, τη φωνολογική επεξεργασία) όσο και τις διεργασίες υψηλότερου επιπέδου σε 28 φοιτητές συγκρίνοντάς τους με μια ομάδα ελέγχου. Από τη στιγμή που οι περισσότεροι συμμετέχοντες με δυσλεξία δεν μπόρεσαν να ολοκληρώσουν το τεστ πριν τελειώσει ο χρόνος (20'), υπολογίστηκε ένα ποσοστό ακρίβειας επί τοις εκατό για τις ερωτήσεις κατανόησης, προκειμένου να υπάρχει μία χρονική μέτρηση της κατανόησης πέρα από την βαθμολογία που υπολογίστηκε στο τέλος του κανονικού δοθέντος χρόνου. Η βαθμολογία στη μη χρονομετρημένη κατανόηση ήταν η μόνη μέτρηση στην οποία δεν εντοπίστηκαν διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων συμμετεχόντων.

Σε μια άλλη μελέτη για την αναγνωστική κατανόηση, οι Nielsen et al. (2016) συνέκριναν την επίδοση 81 ατόμων με δυσλεξία με την επίδοση 50 συγγενών τους, οι οποίοι απετέλεσαν την ομάδα ελέγχου. Οι συμμετέχοντες ήταν ηλικίας από 16 έως 25 ετών και αποτελούνταν από αδέρφια, ξαδέλφια και άλλους στενούς συγγενείς του κλινικού δείγματος. Η μελέτη δεν βρήκε διαφορές μεταξύ των ατόμων με δυσλεξία και της ομάδας ελέγχου στην αναγνωστική κατανόηση. Ωστόσο, οι δύο ομάδες παρουσίασαν σημαντικές διαφορές στην ικανότητα αναγνώρισης λέξεων με τη δυσλεξική ομάδα να σημειώνει τις χαμηλότερες βαθμολογίες.

Συμπερασματικά, αυτές οι μελέτες δείχνουν ξεκάθαρα ότι οι ενήλικες με δυσλεξία παρουσιάζουν διαφορετικό βαθμό αντιστάθμισης των βασικών ελλειμμάτων στην αναγνωστική κατανόηση. Τα ευρήματα δείχνουν ότι τόσο οι προφορικές γλωσσικές δεξιότητες όσο και η αργή και προσεκτική ανάγνωση μπορεί να λειτουργούν ως αντισταθμιστικοί μηχανισμοί σε αυτά τα άτομα. Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμη συμφωνία ως προς το εάν τα άτομα με δυσλεξία μπορούν να ισοσκελίσουν την επίδοση των τυπικών αναγνωστών, και είναι δύσκολο να βρεθεί μια συνολική εξήγηση αναφορικά με τα διαφορετικά αποτελέσματα. Επιπλέον, οι πολλαπλοί ορισμοί που χρησιμοποιούνται για τη δυσλεξία μπορεί να επηρεάσουν το σχεδιασμό των μελετών (Vellutino, Fletcher, Snowling, & Scalon, 2004). Ως εκ τούτου, υπάρχει ανάγκη για νέες μελέτες που θα παρέχουν μια σαφή

περιγραφή και αιτιολόγηση για την επιλογή των μεταβλητών ελέγχου, των δοκιμασιών και των συνθηκών ανάγνωσης, δεδομένου ότι όλες οι μεταβλητές μπορούν να επηρεάσουν τους αντισταθμιστικούς μηχανισμούς που χρησιμοποιούνται από τα άτομα με δυσλεξία.

1.4.5 Τα κοινωνικο-συναισθηματικά ζητήματα σε ενήλικες με δυσλεξία

Οι επίμονες δυσκολίες στην ανάγνωση και τη γραφή που σχετίζονται με τη δυσλεξία μπορεί να θέσουν σε κίνδυνο όχι μόνο την ακαδημαϊκή επίδοση των ατόμων, αλλά και να συμβάλουν στην ανάπτυξη κοινωνικο-συναισθηματικών ζητημάτων όπως το άγχος, η χαμηλή αυτοεκτίμηση και άλλες εσωτερικές διαταραχές, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις σχέσεις μεταξύ των ατόμων (Klassen, Tze, & Hannok, 2013). Οι Jordan, McGladdery και Dyer (2014) διεξήγαγαν μία μελέτη σε ενήλικες με δυσλεξία και διαπίστωσαν ότι σημειώνουν υψηλά επίπεδα άγχους με όποιες αρνητικές συνέπειες μπορεί να επιφέρουν, ενώ υπάρχουν και μελέτες που φανερώνουν μειωμένα επίπεδα άγχους όταν οι φοιτητές με δυσλεξία καταφέρνουν να αντισταθμίσουν τις δυσκολίες που σχετίζονται με τη δυσλεξία (Meer, Breznitz, & Katzir, 2016).

Η διαδικασία εκμάθησης τέτοιων αντισταθμιστικών στρατηγικών απαιτεί ιδιαίτερα μεγάλη προσπάθεια με σημαντικό γνωστικό και συναισθηματικό κόστος, ανεξάρτητα από το ηλικιακό εύρος, ακόμη και για ενήλικες χωρίς μαθησιακές δυσκολίες (Rodarte-Luna & Sherry, 2008). Στην περίπτωση των ατόμων με δυσλεξία, το όφελος που αποκομίζεται είναι συχνά ελάχιστο σε σχέση με την τεράστια προσπάθεια που έχει καταβληθεί και τον χρόνο που έχει απαιτηθεί. Συνεπώς, έχοντας λιγότερες επιτυχημένες ευκαιρίες, τα άτομα αυτά ενδέχεται να απομονωθούν από τους συνομηλίκους του (Kormos, Csizer, & Sarkadi, 2009). Κατά τη διάρκεια καταστάσεων επίλυσης σύνθετων προβλημάτων, οι μαθητές βιώνουν απογοήτευση, πλήξη, σύγχυση και άγχος (D'Mello, Lehman, & Person, 2010).

Οι μαθητές με δυσλεξία μπορεί να βιώσουν μια πορεία ανεπιτυχούς σχολικής εκπαίδευσης και έτσι να αναπτύξουν αρνητικά συναισθήματα (Livingston, Siegel, & Ribary, 2018; Riddick, Sterling, Farmer, & Morgan, 1999). Ως άμεσο αποτέλεσμα της εμπειρίας των αποτυχιών που αντιμετωπίζουν τα άτομα με δυσλεξία καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής τους, είναι δυνατό να εντοπιστεί μια σειρά από αρνητικές συμπεριφορικές αντιδράσεις και συναισθηματικές

συνέπειες. Ο αντιδραστικός χαρακτήρας αντιμετώπισης φαίνεται να συνδέεται με την αντίληψη των ατόμων ότι αποτυγχάνουν στην κοινωνία επειδή αποτυγχάνουν στις δεξιότητες γραφής και ανάγνωσης, με αποτέλεσμα να πιστεύουν ότι αποτυγχάνουν ως άτομα. Αυτή η αδυναμία να αναγνωρίσουν τις μαθησιακές δυσκολίες τους και να κατανοήσουν πώς επηρεάζουν τη ζωή τους, σύμφωνα με τον Raskind και τους συνεργάτες του (1999), οδηγεί σε ακατάλληλους, αντιδραστικούς τρόπους αντιμετώπισης της ζωής, σε αντίθεση με τις κατάλληλες στρατηγικές αντιμετώπισης, που υποδηλώνουν την αίσθηση ελέγχου. Τέτοιες αρνητικές αντιδράσεις περιλαμβάνουν χαμηλή αυτοεκτίμηση /αυτοδιάθεση /αυτοεικόνα και αρνητική αυτοπεποίθηση (Humphrey, 2002; Palombo, 2001; Riddick et al., 1999) δυσκολίες ανάπτυξης σχέσεων και κοινωνικής ένταξης και αυξημένη συναισθηματική ανασφάλεια (McNulty, 2003), στρες, αυξημένα επίπεδα άγχους και κατάθλιψης (Humphrey, 2002, McNulty, 2003, Reid & Kirk, 2001, Wolff & Lundberg, 2003) και δυσκολίες στην ανάπτυξη αμυντικών μηχανισμών για την αντιμετώπιση των παραπάνω συναισθημάτων, συμπεριλαμβανομένης της μαθησιακής δυσκολίας, της προσωπικότητας (Scott, 2003) και των εξωτερικών και εσωτερικών αμυντικών μηχανισμών (Scott, 2003).

Υπάρχουν πολλά ερευνητικά δεδομένα τέτοιων συναισθηματικών συνεπειών όπως περιγράφονται από τους Livingston, Siegel και Ribary (2018). Εκτός από την κατάθλιψη, η δυσλεξία έχει συσχετιστεί με διαταραχές κοινωνικού άγχους (Carroll & Iles, 2006), συνθήκες και καταστάσεις που συχνά συμβάλλουν στην απόφασή τους να μην συνεχίσουν στην τριτοβάθμια εκπαίδευση.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, η οικογενειακή υποστήριξη και οι κατάλληλες στρατηγικές διαχείρισης στο σχολικό περιβάλλον είναι ζωτικής σημασίας για τα άτομα με δυσλεξία, καθώς η έλλειψη εξειδικευμένης υποστήριξης μπορεί να επηρεάσει αρνητικά την κοινωνικο-συναισθηματική τους κατάσταση (Carawan, Nalavany, & Jenkins, 2016; Claassens & Lessing, 2015; Rueda Sánchez & Sánchez Miguel, 2011). Επομένως, δεδομένης της αρνητικής επίδρασης της δυσλεξίας στους κοινωνικο-συναισθηματικούς παράγοντες, θα πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω ο βαθμός επίδρασής τους στην ακαδημαϊκή επίδοση. Στη συνέχεια, είναι ζωτικής σημασίας να εξεταστεί κατά πόσο υπάρχουν συμπτώματα κατάθλιψης σε εκείνον τον πληθυσμό των ενηλίκων με δυσλεξία που επιτυγχάνουν σε ακαδημαϊκό επίπεδο, και να διερευνηθούν οι βασικές τους δεξιότητες ανάγνωσης και γραφής, φωνολογικής

ενημερότητας καθώς και το νοητικό τους επίπεδο. Επιπλέον, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε εάν η ακαδημαϊκή επιτυχία αυτών των ενηλίκων με δυσλεξία μπορεί να εξηγηθεί από το ότι τα άτομα αυτά δε φέρουν χαρακτηριστικά κατάθλιψης ή χαμηλής αυτοεκτίμησης (Quiroga, Janosz, Bisset, & Morin, 2013), καθώς η κοινωνικο-συναισθηματική ανθεκτικότητα είναι θεμελιώδες στοιχείο για μία αποτελεσματική αντιμετώπιση των αναγνωστικών δυσκολιών (Haft, Myers, & Hoeft, 2016).

1.5 Διαγνωστικές προσεγγίσεις – Διαγνωστικά εργαλεία δυσλεξίας στους ενήλικες

Η δυσλεξία ενέχει γνωστικά μειονεκτήματα, τα οποία στην ενηλικίωση μπορεί να οδηγήσουν και σε κοινωνικά μειονεκτήματα (Harrison, Rosenblum, & Currie, 2010; Konur, 2002). Έχει παρατηρηθεί ότι τα άτομα με δυσλεξία στην ενήλικη ζωή επηρεάζονται στην απόφαση επιλογής επαγγελματικού πεδίου (Maughan et al., 2009) καθώς παρατηρείται μικρό ποσοστό φοιτητών σε σχολές θετικών επιστημών, οικονομικών και διοίκησης όπου απαιτείται κυρίως μία διαχείριση αριθμών και μαθηματικών συμβόλων, στοιχεία στα οποία συχνά παρουσιάζονται δυσκολίες. Ως εκ τούτου, οι φοιτητές σε αυτές τις σχολές «αναγκάζονται» να δουλεύουν υπό πίεση χρονική (Taylor & Walter, 2003). Σύμφωνα με αποτελέσματα μελετών National Working Party on Dyslexia in Higher Education, 1999; Singleton, 2004), ένα σημαντικό ποσοστό (περίπου 43%) των φοιτητών με δυσλεξία στο Ηνωμένο Βασίλειο, αναγνωρίζεται μόνο μετά την είσοδο σε ιδρύματα τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Οι Nicolson, Fawcett και Miles (1993) υποστηρίζουν ότι στην ευρύτερη εργασιακή κοινότητα, ο αριθμός των ενηλίκων που δεν έχουν διαγνωστεί με δυσλεξία μπορεί να είναι υψηλότερος από αυτόν που καταγράφονται στα επίσημα στοιχεία. Επομένως, αν διερευνηθούν περαιτέρω τα στοιχεία που συμβάλλουν στην ακαδημαϊκή αποτυχία των φοιτητών με δυσλεξία, ενδεχομένως να αναπτυχθούν καλύτερες και αποτελεσματικότερες υπηρεσίες ακαδημαϊκής υποστήριξης ιδιαίτερα στους πρωτοετείς φοιτητές (Chevalier, Parrila, Ritchie, & Deacon, 2017). Επιπροσθέτως, καθίσταται απαραίτητη η δυνατότητα διάγνωσης της δυσλεξίας κατά την εισαγωγή στο πανεπιστήμιο προκειμένου να εφαρμοστεί μία εκπαιδευτική παρέμβαση για την αντιμετώπιση των ανισοτήτων που επηρεάζουν τα ενήλικα άτομα με δυσλεξία (Warmington et al., 2013).

Δυστυχώς, δεν υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα διαγνωστικά εργαλεία ή δοκιμασίες ανίχνευσης (screening test) δυσλεξίας για ενήλικες και, από τα ήδη γνωστά, απουσιάζει ένα ευρέως αποδεκτό εργαλείο. Επιπλέον, αν και χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια δεν υπάρχουν δημοσιευμένες έρευνες που να τα αξιολογούν. Στη Μεγάλη Βρετανία, δύο γραπτές δοκιμασίες οι οποίες συχνά χρησιμοποιούνται είναι το Dyslexia Adult Screening Test (DAST) (Fawcett & Nicolson, 1998) και το Bangor Dyslexia Test (BDT) (Miles, 1997). Επίσης, σε πολλές περιπτώσεις χορηγείται η μηχανογραφημένη δοκιμασία ανίχνευσης Lucid Adult Dyslexia Screening Plus (Lucid Research Limited, 2010).

Το DAST αναπτύχθηκε για να αξιολογηθεί η δυσλεξία σε ενήλικες (Nicolson & Fawcett, 1997). Αποτελείται από έντεκα δοκιμασίες, εννέα από τις οποίες περιλαμβάνουν την αξιολόγηση δεξιοτήτων σε τομείς που σχετίζονται με τη δυσλεξία, όπως η φωνολογική ενημερότητα, η ακουστική μνήμη και ο κινητικός συντονισμός. Αυτές οι δοκιμασίες περιλαμβάνουν την ταχεία κατονομασία, την ανάγνωση σε ένα λεπτό, τη σταθερότητα στάσης του σώματος, φωνητική κατάτμηση, την ορθογραφία σε δύο λεπτά, την αντίστροφη απαρίθμηση ψηφίων, την ανάγνωση κειμένου με ψευδολέξεις, τη γραφή σε ένα λεπτό, και τη λεκτική ευχέρεια. Επιπλέον, οι δύο δοκιμασίες, ο μη-λεκτικός συλλογισμός και η σημασιολογική ευχέρεια, έχουν σχεδιαστεί για να αξιοποιούν περιοχές σχετικής ισχύος μεταξύ ατόμων με δυσλεξία. Το DAST χορηγείται μεμονωμένα και απαιτείται περίπου 30 λεπτά για να ολοκληρωθεί. Η αξιοπιστία και η εγκυρότητα έχουν αποδειχθεί σε δυσλεξικά δείγματα ενηλίκων και μαθητών (Nicolson & Fawcett, 1999).

Το DAST βασίζεται στη θεωρία του φωνολογικού ελλείμματος (Frith, 1999; Snowling, 1995) και στην υπόθεση της παρεγκεφαλίδας (Fawcett, 2001; Nicolson & Fawcett, 1999). Έχει αποδειχθεί ένα αρκετά επιτυχημένο διαγνωστικό εργαλείο στην τριτοβάθμια εκπαίδευση (Reid & Kirk, 2001). Σε αντίθεση με το BDT, σχεδιάστηκε από την αρχή ως δοκιμασία ανίχνευσης και προσφέρει αποτελέσματα τα οποία καταγράφουν άτομα που βρίσκονται «σε κίνδυνο» για τη δυσλεξία. Οι Harrison και Nichols (2005) διαπίστωσαν ότι το DAST συνολικά είχε δείκτη ευαισθησίας 74% και ειδικότητας 84%. Διαπίστωσαν ότι οι δοκιμασίες που ήταν πιο αξιόπιστες στη διάκριση μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και χωρίς ήταν η ανάγνωση κειμένου με ψευδολέξεις, η ορθογραφία δύο λεπτών, η φωνητική κατάτμηση, η ανάγνωση ενός λεπτού και η γραφή ενός λεπτού. Υποστήριξαν επίσης ότι οι δοκιμασίες όπως η

σταθερότητα στάσης του σώματος, ο μη-λεκτικός συλλογισμός και η σημασιολογική ευχέρεια δεν διέκριναν αποτελεσματικά τις δύο ομάδες ατόμων. Ο Gunn (2000) διαπίστωσε επίσης ότι η σημασιολογική ευχέρεια και ο μη-λεκτικός συλλογισμός δεν διέκριναν αποτελεσματικά μεταξύ των ενηλίκων με δυσλεξία και εκείνων με γενικές μαθησιακές δυσκολίες.

Ο Tim Miles το 1993 αρχικά σχεδίασε το BDT ως μία μπαταρία δέκα δοκιμασιών που θα μπορούσε να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ηλικιών, από τα 7 χρόνια έως την ενηλικίωση, και το οποίο μπορούσε να το ολοκληρώσει ο εξεταζόμενος χωρίς να βρίσκεται υπό το καθεστώς χρονικής πίεσης (Miles, 1993). Ο ίδιος υποστήριζε ότι η δυσλεξία είναι ένα σύνδρομο με σταθερά χαρακτηριστικά δυσκολιών οι οποίες προέρχονταν από ένα υποκείμενο φωνολογικό έλλειμμα (Miles, 2006; Miles, 1993; Payne, Miles, & Wheeler, 2007). Οι δοκιμασίες που περιείχε το BDT επιλέχθηκαν κυρίως μετά από δεδομένα παρατήρησης του Miles σε άτομα με δυσλεξία, τα οποία πίστευε ότι μπορούσαν να προσδιορίσουν το μοτίβο των δυσκολιών τους.

Ένα χαρακτηριστικό του BDT, το οποίο ξεχωρίζει από άλλα εργαλεία διάγνωσης δυσλεξίας, είναι η χρήση γρήγορων και εύχρηστων δοκιμασιών, οι οποίες, ωστόσο, δεν αξιολογούν άμεσα τις δεξιότητες ανάγνωσης και ορθογραφίας. Έτσι, οι δοκιμασίες του BDT θεωρήθηκε ότι αξιολογούν ευρύτερες δυσκολίες στον τομέα του προφορικού λόγου οι οποίες μπορεί να αποκαλύπτουν τις δυσκολίες γραμματισμού των ατόμων με δυσλεξία. Αυτή η εννοιολογική θεώρηση έχει αποτελέσει αντικείμενο κριτικής, με τις ανησυχίες να διατυπώνονται τόσο για την αντικειμενικότητα του συστήματος βαθμολόγησης όσο και για τον συγκεκριμένο στόχο του εργαλείου, δεδομένου του αποκλεισμού μετρήσεων δεξιοτήτων ανάγνωσης και ορθογραφίας (Sutherland & Smith, 1991). Οι νόρμες και η εγκυρότητα σε ορισμένες δοκιμασίες του BDT εξήχθησαν μέσα από μια μεγάλη, εθνικά αντιπροσωπευτική ομάδα παιδιών ηλικίας 10-11 ετών, που συμμετείχαν στη μελέτη Child Health and Education (Miles, 1993; Miles, Haslum, & Wheeler, 1998), αλλά μέχρι στιγμής είναι λίγες οι δημοσιευμένες έρευνες που καταχωρούν ευρύτερες νόρμες, οι οποίες να συμπεριλαμβάνουν ενήλικο πληθυσμό (Reynolds & Caravolas, 2016).

Το Lucid Adult Dyslexia Screening Plus (LADS Plus) (Lucid Research Limited, 2010) είναι ένα εργαλείο ανίχνευσης δυσλεξίας σε ενήλικο πληθυσμό το οποίο χρησιμοποιεί έναν

αλγόριθμο που σταθμίζει την επίδοση στη μη-λεκτική δεξιότητα συλλογισμού του τεστ συγκριτικά με τις επιδόσεις στις δοκιμασίες αναγνώρισης λέξεων, δημιουργίας λέξεων και μνήμης. Με άλλα λόγια, ο εξεταζόμενος που έχει υψηλή βαθμολογία στη δεξιότητα συλλογισμού αναμένεται να σημειώνει κατώτερους βαθμούς στις άλλες δοκιμασίες έτσι ώστε να χαρακτηριστεί ως άτομο υψηλού κινδύνου δυσλεξίας από ό,τι ένας εξεταζόμενος που σημειώνει μικρότερη βαθμολογία στη δεξιότητα συλλογισμού. Το LADS δίνει ένα αποτέλεσμα κατηγορίας «κινδύνου» για κάθε δοκιμασία και μια σύντομη αναφορά που προσδιορίζει κατά πόσο ο φοιτητής ανήκει σε υψηλό, μέτριο, οριακό ή χαμηλό κίνδυνο δυσλεξίας. Όπως το BDT και το DAST, έτσι και το LADS δεν προορίζεται ούτε έχει σχεδιαστεί για να δείξει την παρουσία οποιασδήποτε άλλης ΕΜΔ (Singleton, Horne & Thomas, 2004).

Οι περισσότερες έρευνες και διαγνωστικά εργαλεία που αφορούν ενήλικο πληθυσμό επικεντρώνονται σε αγγλόφωνο γλωσσικό περιβάλλον (π.χ., Fawcett & Nicolson, 1998). Σχετικά με ερωτηματολόγια ή συστάδες αξιολόγησης σε άλλες γλώσσες τα δεδομένα είναι αρκετά περιορισμένα. Για παράδειγμα, το πιο διαδεδομένο τεστ ανάγνωσης σε γαλλόφωνες χώρες είναι το Alouette τεστ (Lefavrais, 1967, 2005), το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως από επαγγελματίες υγείας (π.χ. ψυχολόγους, γιατρούς, λογοθεραπευτές) ως ανιχνευτικό εργαλείο δυσλεξίας μεταξύ παιδιών και εφήβων. Χρησιμοποιήθηκε ακόμη και ως τεστ αναφοράς για να επιβεβαιώσει τη διάγνωση δυσλεξίας μεταξύ παιδιών, καθώς οι επιδόσεις στο Alouette χρησιμοποιούνται συχνά για την αξιολόγηση των διαγνωστικών δεξιοτήτων διαφορετικών γαλλικών τεστ ανάγνωσης (Bertrand, Fluss, Billard & Ziegler, 2010). Ο κύριος λόγος είναι ότι το Alouette αξιολογεί την ταχύτητα και την ακρίβεια σε δεξιότητες οι οποίες συχνά παρουσιάζουν ελλείμματα μεταξύ των αναγνωστών με δυσλεξία όπως η ανάγνωση λέξεων με φωνηματικογραφημική αντιστοιχία, η ανάγνωση ψευδολέξεων και η αναγνωστική ευχέρεια (Sprenger-Charolles, Siegel, Jimenez, & Ziegler, 2011; Sprenger-Charolles, Colé, Béchennec, & Kipffer-Piquard, 2005). Επιπλέον, το Alouette αξιολογεί τη λεκτική αποκωδικοποίηση υπό κανονικές συνθήκες ανάγνωσης χρησιμοποιώντας ένα κείμενο που είναι γραμματικά και συντακτικά σωστό, αλλά δεν έχει κανένα νόημα, γεγονός που καθιστά την προβλεψιμότητα των λέξεων πολύ χαμηλή. Ως αποτέλεσμα, το Alouette δεν παρέχει ενδείξεις με βάση τα συμφραζόμενα που ο αναγνώστης μπορεί να χρησιμοποιήσει για να αντισταθμίσει τυχόν δυσκολίες αποκωδικοποίησης (Torgesen, Rashotte, & Alexander, 2001).

Οι Cavalli et al. (2018) σε μία πρόσφατη έρευνά τους χορήγησαν το Alouette σε ένα μεγάλο δείγμα Γάλλων φοιτητών με και χωρίς δυσλεξία και κατέδειξαν ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση ενηλίκων, παρότι αρχικά αναπτύχθηκε για να αξιολογηθεί η δυσλεξία στα παιδιά. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το τεστ ήταν ικανοποιητικό στην πρόβλεψη της διάγνωσης με βάση τις επιδόσεις στην ακρίβεια, την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητα, καθιστώντας το Alouette ένα έγκυρο διαγνωστικό εργαλείο για ενήλικες.

Εκτός από το Alouette, υπάρχουν και άλλα 2 γαλλόφωνα εργαλεία που έχουν σχεδιαστεί για την ανίχνευση δυσλεξίας σε εφήβους και νέους ενήλικες τα οποία αξιολογούν δεξιότητες αναγνώρισης γραπτής λέξης ECLA-16 + (Gola-Asmussen, Lequette, Pouget, Rouyer, & Zorman, 2011) και το Adult PHONOLEC (Plaza, Robert-Jahier, Gatignol, & Oudry, 2008) το οποίο αξιολογεί φωνολογικές δεξιότητες. Ωστόσο, κανένα από αυτά τα εργαλεία δεν έχει επιβεβαιωθεί σε δείγμα ενηλίκων με δυσλεξία, περιορίζοντας έτσι τη χρήση τους σε κλινικές και ερευνητικές μελέτες.

1.5.1 Η επίδραση του μουσικού παράγοντα στην αναγνωστική διαδικασία

Σύμφωνα με τους Farr & McLaughlin (2019), το 30% των παιδιών δυσκολεύονται να διαβάσουν και περίπου το 17% των παιδιών σχολικής ηλικίας έχουν διαγνωστεί με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες. Αν και δεν υπάρχει μία και μοναδική εκπαιδευτική μέθοδος η οποία να ευνοεί όλους τους μαθητές που αντιμετωπίζουν αναγνωστικά προβλήματα, εν τούτοις έχουν ανακύψει αρκετές έρευνες που υποστηρίζουν ότι συγκεκριμένες μουσικές τεχνικές και εμπειρίες μπορούν να εφαρμοστούν για να ενισχυθεί η διαδικασία ανάγνωσης και γενικότερα γραμματισμού (Farr & McLaughlin, 2019). Ο Howard Gardner ανέπτυξε τη θεωρία πολλαπλής νοημοσύνης υποδηλώνοντας ότι υπάρχουν οκτώ διαφορετικοί τύποι μάθησης στην εκμάθηση νέας πληροφορίας, ένας εκ των οποίων είναι και η μουσική (Madjar et al., 2020). Πολλές μελέτες παρέχουν στήριξη στην ιδέα ότι η μουσική μπορεί να δράσει βοηθητικά στο μαθησιακό περιβάλλον αναφορικά με τη διαδικασία γραμματισμού, αλλά και πιο συγκεκριμένα στην αναγνωστική κατανόηση (Aghajani, 2019).

Μία διάκριση που χρειάζεται να επισημανθεί είναι ότι ενώ υπάρχουν αρκετοί μαθητές που αντιμετωπίζουν δυσκολίες στην ανάγνωση, υπάρχουν επίσης μαθητές που μπορεί να μη

δυσκολεύονται στο να διαβάσουν αλλά δεν κατανοούν απαραίτητα τι έχουν διαβάσει. Ωστόσο, οι ερευνητές έχουν βρει στοιχεία ότι η κατανόηση της ακρόασης και η κατανόηση της ανάγνωσης περιλαμβάνει παρόμοιες γνωστικές διαδικασίες. Υποστηρίζουν επίσης ότι η ομοιότητα μεταξύ των δύο τύπων κατανόησης δεν ενέχει απαραίτητα ανταγωνιστικό χαρακτήρα διατυπώνοντας την ιδέα ότι η μουσική θα μπορούσε να εμπλουτίσει την εκπαίδευση (Que, Zheng, Hsiao, & Hu, 2020). Επομένως, εάν η μουσική παίζει ως υπόκρουση τη στιγμή που οι μαθητές διαβάζουν ένα κείμενο, θεωρητικά, η μουσική δεν πρέπει να ανταγωνίζεται την κατανόηση της ανάγνωσης των μαθητών, αλλά αντίθετα να υποστηρίζει την κατανόηση της ανάγνωσής τους. Ενώ η μουσική μπορεί να υποστηρίξει την κατανόηση της ανάγνωσης των μαθητών, ο τύπος της μουσικής που παίζει μπορεί να είναι επιζήμιος για την επιτυχία των μαθητών. Σε μια μελέτη που διεξήχθη από τους Farr & McLaughlin (2019), η κατανόηση της ανάγνωσης των 3/4 των μαθητών που συμμετείχαν στη μελέτη μειώθηκε σημαντικά όταν οι συμμετέχοντες άκουγαν μουσική με στίχους σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της κατανόησης της ανάγνωσης όταν ήταν σε ήσυχο περιβάλλον. Ίσως λοιπόν, η αναγνωστική κατανόηση των μαθητών να μην υποστηρίζεται αποτελεσματικότερα όταν η μουσική έχει στίχους.

Ο Aghajani (2019) διερευνώντας τις επιδράσεις της ροκ μουσικής σε λεκτικές, μαθηματικές και αναγνωστικές δοκιμασίες, βρήκε ότι όταν οι συμμετέχοντες άκουγαν ροκ μουσική ενώ ασχολούνταν με τις συγκεκριμένες δοκιμασίες η επίδοσή τους στα μαθηματικά και στις λεκτικές δεξιότητες μειώθηκε, ενώ η αναγνωστική κατανόηση παρέμεινε σταθερή. Κατέληξε, λοιπόν, στο συμπέρασμα ότι η πολυπλοκότητα της μουσικής ενδέχεται να επηρεάσει την απόδοση. Η θεωρία της μουσικής πολυπλοκότητας δηλώνει ότι, αν και η μουσική μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη επίδοση, η αυξημένη πολυπλοκότητα στη μουσική θα οδηγήσει σε μείωση της απόδοσης συγκριτικά με τη λιγότερο περίπλοκη μουσική.

Πολλά ερευνητικά δεδομένα συγκλίνουν στο εύρημα ότι ο καλύτερος τύπος μουσικής για να βοηθήσει τη μάθηση είναι η κλασική μουσική. Το Mozart Effect υποστηρίζει καλύτερα την έννοια της αναπαραγωγής κλασικής μουσικής προκειμένου να βελτιώσει τη μάθηση των μαθητών. Το Mozart Effect παρουσιάστηκε από τους Rauscher, Shaw και Ky το 1993 μετά τα αποτελέσματα μιας μελέτης που διεξήγαγαν και έδειξαν ότι οι συμμετέχοντες της μελέτης που εκτέθηκαν στο Sonata του Mozart στο D major for Two Pianos έδειξαν αύξηση στις

βαθμολογίες IQ, σε αντίθεση με εκείνους τους συμμετέχοντες που άκουγαν μια ταινία χαλάρωσης ή κάθονταν σιωπηλοί. Αυτό οδήγησε τους ερευνητές να πιστεύουν ότι υπάρχουν περισσότερα οφέλη στην ακρόαση της κλασικής μουσικής σε σχέση με άλλους τύπους μουσικής στη μάθηση ενός μαθητή (Holmes, 2019). Μια ακόμα μελέτη έδειξε ότι οι μαθητές που άκουγαν μουσική Mozart κατά τη διάρκεια δοκιμασιών στα μαθηματικά σημείωσαν βελτιωμένη επίδοση στη βαθμολογία τους (Taylor & Rowe, 2012).

Η κλασική μουσική έχει αποδειχθεί ωφέλιμη στη διαδικασία εκμάθησης και κατανόησης των μαθητών. Ωστόσο, ένας πρόσθετος παράγοντας που ενδεχομένως ενισχύει την ανάκληση πληροφοριών ενός κειμένου είναι το φαινόμενο οικειότητας της μουσικής, δηλαδή η έκθεση σε γνωστές μελωδίες όταν ένας μαθητής διαβάζει χρησιμοποιώντας τη μουσική ως μνημονική συσκευή (Que et al., 2020). Σύμφωνα με τους Que et al., (2020), οι μαθητές μπορούν να συσχετίσουν τις μελωδίες με το κείμενο που διαβάζουν και έτσι να προχωρήσουν στην ανάκληση των πληροφοριών οι οποίες είναι συνδεδεμένες με την εν λόγω μελωδία. Η χρήση ορχηστρικών εκδόσεων τραγουδιών με τα οποία είναι εξοικειωμένοι οι μαθητές θα μπορούσε να αποδειχθεί επωφέλης για την αναγνωστική κατανόηση, όπως υποστηρίζεται από το Mozart effect και το φαινόμενο οικειότητας.

Οι Que et al., (2020) εξέτασαν τη σχέση της αναγνωστικής κατανόησης 40 φοιτητών με την παρουσία ή απουσία προτιμώμενης μουσικής. Αρχικά οι φοιτητές διάβασαν ένα απόσπασμα κειμένου και εν συνεχεία μπορούσαν είτε να χαλαρώσουν είτε να διαβάσουν άσχετο υλικό. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι τα άτομα που μελετούσαν τακτικά έχοντας παράλληλα μουσική υπόκρουση σημείωσαν μεγαλύτερο βαθμό κατανόησης κατά τη διάρκεια μουσικών συνθηκών, ενώ εκείνοι που σπάνια διάβαζαν με παρουσία μουσικής υπόκρουσης παρουσίασαν καλύτερο σκορ κατά τη διάρκεια των συνθηκών σιωπής.

Πολλοί ερευνητές και εκπαιδευτικοί έχουν εκφράσει προβληματισμό σχετικά με την αναπαραγωγή μουσικής για το γεγονός ότι ενώ οι μαθητές ολοκληρώνουν μια δοκιμασία ανάγνωσης, η μουσική μπορεί να αποσπάσει την προσοχή τους. Το μοντέλο προσοχής ικανότητας του Kahneman υποδηλώνει ότι ο βαθμός προσοχής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ταυτόχρονα είναι περιορισμένος. Επιπλέον, η προσοχή που απαιτείται για την εκτέλεση πολλαπλών εργασιών εξαρτάται από την πολυπλοκότητα κάθε δραστηριότητας που εκτελείται μεμονωμένα (Dong, 2020). Παρομοίως, επιφυλάξεις έχουν διατυπωθεί ως

προς τη χρήση μουσικής υπόκρουσης ταυτόχρονα με την εκτέλεση αναγνωστικής εργασίας, καθώς μπορεί να είναι περιορισμένη η προσοχή που μπορεί να διαθέσει ο μαθητής την ώρα που διαβάζει και να μην είναι απολύτως συγκεντρωμένος στη εργασία του. Ωστόσο, σε μελέτες που διεξήχθησαν από τους Doyle και Furnham (2012) και τον Holmes (2019), στην οποία οι ερευνητές μελέτησαν κατά πόσον η μουσική υπόκρουση επηρέαζε την κατανόηση των δημιουργικών και των μη δημιουργικών μαθητών, διαπιστώθηκε ότι δεν υπήρχε ένδειξη ότι η μουσική αποσπά την επίδοση των μαθητών σε κάθε αναγνωστική δοκιμασία.

Οι Madjar et al., (2020) διαπίστωσαν ότι ο περιβαλλοντικός θόρυβος σε συνδυασμό με τις λέξεις μείωσε τη μνήμη, ενώ ο θόρυβος στο παρασκήνιο απουσία λέξεων, δεν είχε αξιοσημείωτα αποτελέσματα. Οι Salame και Baddeley (1989) σε αρχικές μελέτες που συσχέτιζαν τη μουσική με γνωστικές διεργασίες, εξέτασαν επίσης τα αποτελέσματα της μουσικής στη βραχυπρόθεσμη μνήμη (STM). Ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να θυμούνται μια ακολουθία αριθμών ενώ ακούνε φωνητική ή ορχηστρική μουσική. Οι συμμετέχοντες στην κατάσταση της ορχηστρικής μουσικής μπόρεσαν να ανακαλέσουν τους αριθμούς με μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτούς στην κατάσταση της φωνητικής μουσικής. Οι λέξεις αποσπούν την προσοχή σε όσους βρίσκονται στην κατάσταση της φωνητικής μουσικής, αλλά η ορχηστρική μουσική δεν αποσπά την προσοχή. Ο Wolfe (1983) εξέτασε τα αποτελέσματα της έντασης της μουσικής υπόκρουσης. Οι συμμετέχοντες ταξινομήθηκαν σε μία από τις τέσσερις συνθήκες: (1) μόνο δοκιμασία, (2) δοκιμασία συν μουσική υπόκρουση στα 60-70 dB, (3) δοκιμασία συν μουσική υπόκρουση στα 70-80 dB και (4) δοκιμασία συν μουσική υπόκρουση στα 80-90 dB. Οι δοκιμασίες αφορούσαν στην ολοκλήρωση μαθηματικών προβλημάτων και την απάντηση ερωτηματολογίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντική επίδραση στην απόδοση των δοκιμασιών κατά τη διάρκεια μουσικών συνθηκών. Η πλειοψηφία των συμμετεχόντων, στη μουσική συνθήκη των 80-90 dB, αντιλήφθηκε την ένταση ως τον πιο διασπαστικό παράγοντα (Farr & McLaughlin, 2019).

Η ενσωμάτωση της μουσικής στα μαθήματα γραμματισμού παρέχει στους μαθητές συγκεκριμένες, πρακτικές εμπειρίες που είναι απαραίτητες για την ανάπτυξη της ικανότητας κάθε παιδιού να αιτιολογεί, να σκέφτεται, να επιλύει προβλήματα, να αναλύει και να αξιολογεί κείμενα (Adams & McNair, 2018). Ως αποτέλεσμα αυτών, οι μαθητές μπορούν να είναι σε θέση να κατανοήσουν καλύτερα τι διαβάζουν και να έχουν ανακαλούν καλύτερα τις

πληροφορίες. Οι δεξιότητες ρυθμού θεωρήθηκαν σχετικές με την ανάγνωση τόσο σε τυπικώς αναπτυσσόμενα παιδιά όσο και σε μαθητές με μαθησιακές δυσκολίες (Farr & McLaughlin, 2019). Η μουσική επηρεάζει όχι μόνο τους μαθητές σε ένα περιβάλλον γενικής εκπαίδευσης, αλλά και τους μαθητές σε ένα περιβάλλον ειδικής εκπαίδευσης. Μια μελέτη που διεξήχθη από τους Farr & McLaughlin (2019) διαπίστωσε ότι οι μαθητές οι οποίοι είχαν συγκεκριμένες μαθησιακές δυσκολίες σημείωσαν σημαντική πρόοδο στην αναγνωστική κατανόησή τους μετά από μουσική παρέμβαση.

1.5.2 Η επίδραση του μουσικού παράγοντα στην αναγνωστική διαδικασία σε άτομα με δυσλεξία

Ένα από τα κοινά στοιχεία σε πολλές θεωρίες είναι η πεποίθηση ότι οι δεξιότητες χρονισμού αποτελούν θεμελιώδη προβληματική περιοχή στη δυσλεξία. Τα τελευταία χρόνια, οι ερευνητές εντοπίζουν σε παιδιά με δυσλεξία δυσκολίες στην εκτίμηση του χρόνου (Nicolson, Fawcett, & Dean, 1995), στο ρυθμικό χτύπημα (Wolff, 2002), στην ανίχνευση σύνθετων προτύπων χρονισμού (Kujala, Lörönen, Klika, & Pihlaja, 2000), στην ταχεία αυτόματη κατονομασία (Wolff, 2002), στην ταχεία χρονική επεξεργασία (Tallal, Miller, & Fitch, 1993), στην ακουστική χρονική ευαισθησία (Witton, et al., 1998), στη γρήγορη αντιληπτική ομιλία (Wood & Terrell, 1998) και στην ανίχνευση οπτικής κίνησης (Talcott, Hansen, Assoku, & Stein, 2000).

Αναφέρεται επίσης, ότι τα παιδιά με δυσλεξία μπορεί να εκδηλώσουν δυσκολίες με τις δεξιότητες ρυθμού, αλλά δεν είναι σαφές εάν αυτές οι δυσκολίες προκύπτουν από κινητικά ή αντιληπτικά ελλείμματα ή δυσκολία εξαγωγής του υποκείμενου μέτρου (ρυθμού) ή ακόμη και άλλους παράγοντες.

Σε μία από τις πρώτες έρευνες η Overy (2003) παρουσίασε σε παιδιά με δυσλεξία μια σειρά μουσικών παιχνιδιών κλιμακούμενης δυσκολίας που εστίαζαν σε συγκεκριμένες δεξιότητες ρυθμού και χρονισμού για μια περίοδο περίπου 15 εβδομάδων. Τα αποτελέσματα έδειξαν σημαντικές βελτιώσεις που αφορούσαν τόσο στην ανάγνωση όσο και στην φωνολογική επεξεργασία και στην ορθογραφία. Το ίδιο ισχυρίστηκαν και οι Cogo-Moreina, Ploubidis και Mari (2013) οι οποίοι απέδειξαν ότι η μουσική κατάρτιση είχε θετικά αποτελέσματα στις

δεξιότητες ανάγνωσης και κατανόησης αλλά και γενικά στην εκπαίδευση των μαθητών με δυσλεξία. Συγκεκριμένα, μαθητές με δυσλεξία που ασχολούνταν με την μουσική σημείωσαν μεγαλύτερες βαθμολογίες στην ανάγνωση και στην φωνολογική ενημερότητα σε αντίθεση με αντίστοιχους μαθητές που δεν είχαν επαφή με την μουσική. Μάλιστα, οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα αποτελέσματα της έρευνας ενθάρρυναν έντονα την επιλογή μουσικής εκπαίδευσης στην αντιμετώπιση της δυσλεξίας και συνιστούσαν να επικεντρωθούν στην αντίληψη του ρυθμού παρά στην τονική ακρίβεια όπως συμβαίνει συνήθως στην παιδαγωγική της κλασσικής μουσικής (Cogo-Moreina, Ploubidis, & Mari, 2013).

Επίσης, ο Patel (2012) επισημαίνει ότι η μουσική και η ομιλία διαθέτουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά όπως η ακολουθία ήχων, ένα συγκεκριμένο αλφάβητο και μια ορισμένη σύνταξη. Ο Patel (2011) διατύπωσε την υπόθεση ότι η αντίληψη της μουσικής οδηγεί σε προσαρμοστική εγκεφαλική πλαστικότητα των ίδιων νευρικών δικτύων που εμπλέκονται στην επεξεργασία της ομιλίας. Ωστόσο, σε μεταγενέστερη έρευνα, βρέθηκε ότι τα παιδιά με δυσλεξία έδειξαν χαμηλή απόδοση σε εργασίες αντίληψης ρυθμού και μουσικού μέτρου, προτείνοντας την ρυθμική διέγερση ως θεραπεία για αυτά τα ελλείμματα αλλά και για την ίδια την διαταραχή της δυσλεξίας (Flaugnacco, Lopez, Terribilli, & Montico, 2015).

Σε έρευνα του Atterbury (1985) που πραγματοποιήθηκε σε παιδιά ηλικίας 7 έως 9 ετών μελετήθηκε η διάκριση ρυθμικών μοτίβων και η ασθενής τονική μνήμη. Διαπιστώθηκε πολλά χρόνια αργότερα σε νέα έρευνα (Thompson & Goswami, 2008) ότι η πολύ σύντομη εκπαίδευση 10 λεπτών κάθε εβδομάδα για 6 εβδομάδες -π.χ. χτυπώντας παλαμάκια και φωνάζοντας στο χρόνο ενός μουσικού κομματιού- είχε σημαντική επίδραση στην κατανόηση του γραπτού λόγου από τα παιδιά που αντιμετώπιζαν δυσκολίες στην ανάγνωση και από τα παιδιά με δυσλεξία (Overy, 2003; Hallam, 2010).

Σε έρευνα των Habib et al., (2016) παρουσιάστηκε σε μαθητές με δυσλεξία ένα ρυθμικό μοτίβο στην ανάγνωση και στη γλώσσα, ακολουθούμενο από μια προφορική πρόταση που ήταν συντακτικά σωστή ή λανθασμένη (π.χ. Η Λόρα έχει ξεχάσει το βιολί της.). Στόχος αυτής της άσκησης ήταν να προσδιοριστεί αν μια ειδικά σχεδιασμένη μέθοδος, η CMT (Cognitive Musical Training) ή αλλιώς Γνωστική Μουσική Κατάρτιση μπορεί να βελτιώσει την κατηγορική αντίληψη και την αντίληψη της μετρικής δομής των λέξεων και πιθανώς την

τονική διάκριση παιδιών με δυσλεξία. Η μέθοδος αυτή σχεδιάστηκε από λογοθεραπευτές και βασίζονταν σε αναγνωρισμένες αρχές αποτελεσματικής παρέμβασης (Shaywitz & Shaywitz, 2005).

Η μέθοδος CMT πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τρία συστατικά: α) ένα ακουστικό στοιχείο που στοχεύει στην ομοιότητα της γλώσσας και της μουσικής στην ακουστική αντίληψη, β) ένα κινητικό στοιχείο, που εστιάζει κυρίως στην παραγωγή ρυθμού και γ) μία διατροφική συνιστώσα που απαιτεί ταυτόχρονη επεξεργασία πληροφοριών από διαφορετικούς τομείς όπως ακουστικούς, οπτικούς, αισθητηριακούς και κινητικούς. Το πρόγραμμα CMT περιλαμβάνει μια σειρά μουσικών ασκήσεων που βασίζεται στα τρία αυτά συστατικά καθώς και στην ενεργή ακρόαση διαφόρων ειδών μουσικών ερεθισμάτων. Οι μουσικές ασκήσεις κάλυπταν, επίσης, διαστάσεις της μουσικής όπως: τόνος, διάρκεια, τέμπο, παλμός και ρυθμός που στόχο έχουν την ανάπτυξη τόσο της αντίληψης της ομιλίας όσο και την αντίληψη και παραγωγή μουσικής.

Τα αποτελέσματα της δοκιμής μετά από εντατική χρήση της μεθόδου CMT για τρεις συνεχόμενες ημέρες σε παιδιά με δυσλεξία, αποκάλυψαν δύο ευρήματα που δείχνουν ενδιαφέρον (Heim & Dohla, 2016). Πρώτον, σε σύγκριση με τους τυπικούς αναγνώστες, οι μαθητές με δυσλεξία είχαν βελτιωθεί στο τεστ αναγνώρισης της κατηγορικής αντίληψης, αλλά το επίπεδο απόδοσης τους ήταν ίδιο με το επίπεδο της ομάδας ελέγχου παιδιών τυπικής ανάπτυξης έπειτα από 3 ημέρες και συγκεκριμένα 18 ώρες συνολικής εξάσκησης του προγράμματος. Είναι σημαντικό ότι η εντατική μουσική εκπαίδευση επηρέασε θετικά την κατηγορική αντίληψη διευκολύνοντας την συλλαβική αναγνώριση (Serniclaes, Van Heghe, Mousty, & Carre, 2004). Επίσης η μέθοδος CMT είχε θετική επίδραση και στις χρονικές πτυχές της επεξεργασίας του λόγου.

Τα αποτελέσματα των τυποποιημένων ψυχομετρικών εξετάσεων έδειξαν ότι οι διάφορες πτυχές της συμπεριφοράς των συμμετεχόντων παιδιών με δυσλεξία, στις οποίες είχε επικεντρωθεί το πρόγραμμα CMT, βελτιώθηκαν ειδικά κατά την περίοδο της μουσικής εκπαίδευσης. Οι βελτιώσεις αφορούσαν την ακουστική προσοχή, την επανάληψη ψευδολέξεων, την ανάγνωση λέξεων σε 1 λεπτό και την φωνολογική ενημερότητα. Αυτές οι βελτιώσεις συνεχίστηκαν και την επόμενη περίοδο χωρίς περαιτέρω εκπαίδευση αποδεικνύοντας την ανθεκτικότητα της μεθόδου.

Μελέτες που σχετίζονται με τη διερεύνηση της μουσικής αντίληψης μαθητών με δυσλεξία έχουν επιβεβαιώσει περιορισμένη ικανότητα αντίληψης ρυθμού και ομιλίας. Σε έρευνα των Καραπέτσα, Λασκαράκη και Ζυγούρη (2014) μελετήθηκε η μουσική δεκτικότητα σε παιδιά με δυσλεξία. Στην έρευνα συμμετείχαν 90 μαθητές δημοτικού, εκ των οποίων οι 45 είχαν διαγνωστεί με δυσλεξία από δημόσιο φορέα και παρακολουθούσαν τμήμα ένταξης ενώ οι υπόλοιποι 45 ανήκαν στην ομάδα ελέγχου παιδιών χωρίς δυσλεξία. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι δεν σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές ως προς το φύλο και ως προς την τάξη και ηλικία των παιδιών. Αντίθετα, παρατηρήθηκαν υψηλές διαφορές των τυπικών αναγνωστών σε σύγκριση με τους δυσλεξικούς μαθητές στο σύνολο των δοκιμασιών. Ιδιαίτερα χαμηλές ήταν οι επιδόσεις των μαθητών με δυσλεξία στην ακουστική δοκιμασία, στην άσκηση δηλαδή όπου καλούνταν να βρουν ποια λέξη δεν ομοιοκαταληκτεί. Επιβεβαιώθηκε, λοιπόν, ότι η ελλειμματική φωνολογική αποκωδικοποίηση των παιδιών με δυσλεξία οφείλεται στην αδυναμία επεξεργασίας των ακουστικών ερεθισμάτων.

Παρόλα αυτά, σε έρευνα των Besson, Schon, Moreno & Santos (2007) όπου αξιολογήθηκε η ικανότητα αντίληψης και διάκρισης του τονικού ύψους σε τυπικούς αναγνώστες και σε μαθητές με δυσλεξία παρατηρήθηκε ότι τα παιδιά με δυσλεξία σημείωσαν χαμηλότερες επιδόσεις στο σύνολο των δοκιμασιών, εκδηλώνοντας δυσκολίες στο να εντοπίσουν και να διακρίνουν αλλαγές στο τονικό ύψος. Επίσης, εμφάνισαν δυσκολίες που αφορούσαν την σύγκριση των ήχων μεταξύ τους και την εκτίμηση των μουσικών διαστημάτων σε αντίθεση με τους τυπικούς αναγνώστες, οι οποίοι ήταν σε θέση να διακρίνουν εύκολα αυτές τις αλλαγές.

Σε μία διερευνητική μελέτη που διεξήχθη σε 28 μαθητές με δυσλεξία με μέση ηλικία 6 έως 7 ετών στο Πανεπιστήμιο του Sheffield υπό την επίβλεψη των Overy, Nicolson, Fawcett και Clarke (2003), πληροφορίες που σχετίζονταν με τους παράγοντες εκδήλωσης των δυσκολιών στις δεξιότητες ρυθμού οδήγησαν στον σχεδιασμό ενός μουσικού προγράμματος για παιδιά με δυσλεξία καθώς και σε περαιτέρω έρευνα για την φύση των γλωσσικών προβλημάτων που εντοπίζονται στη δυσλεξία. Οι μαθητές χωρίστηκαν σε τρεις ομάδες ανάλογα με την βαθμολογία τους στο τεστ Δυσλεξίας (DST): «υψηλού κινδύνου» (6 παιδιά, μέση ηλικία 6-8 έτη), «ήπιου κινδύνου» (6 παιδιά, μέση ηλικία 6-8 έτη) και «κανένα κινδύνου» (16 παιδιά, μέση ηλικία 6-7 έτη). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν έγιναν σημαντικές βελτιώσεις στις

αναγνωστικές δεξιότητες των παιδιών με δυσλεξία, αλλά οι ομάδες υψηλού και ήπιου κινδύνου σημείωσαν σημαντικές βελτιώσεις στις ορθογραφικές δεξιότητες ενώ και οι τρεις ομάδες παρουσίασαν μεγάλη βελτίωση στις δεξιότητες φωνολογικής κατάκτησης. Συνεπάγεται, λοιπόν, ότι μια μελέτη που θα μπορούσε να διεξαχθεί από έναν εκπαιδευμένο δάσκαλο στην μουσική, ο οποίος θα συνεργάζεται με μικρές ομάδες δυσλεξικών παιδιών και θα χρησιμοποιεί το κατάλληλο ρυθμικό μουσικό υλικό για τη δυσλεξία, θα μπορούσε να επιφέρει θετική επίδραση στις δεξιότητες ανάγνωσης και στις φωνολογικές και ορθογραφικές ικανότητες των μαθητών με δυσλεξία.

Σε μία δεύτερη μελέτη μουσικής παρέμβασης από την ίδια ερευνητική ομάδα (Overy et al., 2003) κατέδειξε ότι το μουσικό πρόγραμμα είχε θετική επίδραση σε τέσσερις τομείς δεξιοτήτων: αντιγραφή ρυθμού, γρήγορη ακουστική επεξεργασία, φωνολογική ικανότητα και δεξιότητα ορθογραφίας. Οι ενδείξεις αυτές ενισχύουν την πρόταση ότι οι δεξιότητες συγχρονισμού μπορούν να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην μετατροπή μουσικών ικανοτήτων σε γλωσσικές ικανότητες. Ωστόσο, ενδιαφέρον παραμένει ότι οι αναγνωστικές δεξιότητες δεν βελτιώθηκαν σημαντικά ούτε σε αυτή την μελέτη, σε αντίθεση με τις φωνολογικές και ορθογραφικές ικανότητες που σημείωσαν μεγάλη βελτίωση.

Συνάγεται, λοιπόν, ένα γενικό συμπέρασμα που διατυπώνει ότι η παραγωγή της μουσικής η οποία απαιτεί πολύ ακριβείς ακουστικές και κινητικές δεξιότητες χρονισμού αλλά κυρίως η εκπαίδευση της μουσικής σε παιδιά με δυσλεξία συνιστά ίσως ένα από τα πιο αποδοτικά εργαλεία αποκατάστασης και μια ουσιαστική στρατηγική βελτίωσης των δυσκολιών που εντοπίζονται στην ειδική μαθησιακή διαταραχή της δυσλεξίας. Με βάση αυτή την άποψη, η μουσική παρέμβαση σε παιδιά με δυσλεξία μπορεί να είναι ένας από τους πιο πλήρεις και ορθολογικούς τρόπους αντιμετώπισης της δυσλεξίας πέρα από τις συμβατικές κλασσικές μεθόδους αντιμετώπισης που εφαρμόζονταν συνήθως από τους εκπαιδευτικούς και τους κλινικούς για την αντιμετώπιση της δυσλεξίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΝΕΥΡΟΛΟΓΙΚΗ ΒΑΣΗ της ΕΑΔ

2.1 Γενετικές μελέτες της ΕΑΔ

Στο πλαίσιο διεπιστημονικής προσέγγισης του νευροβιολογικού υποστρώματος της δυσλεξίας, ένα μεγάλο πλήθος μελετών αφορά στον γενετικό καθορισμό της δυσλεξίας. Ερευνητές σε αυτόν τον τομέα έχουν πραγματοποιήσει γενεαλογικές μελέτες, μελέτες για την κληρονομικότητα των αναγνωστικών δεξιοτήτων, μελέτες μοριακής γενετικής κ.λπ. Ήδη από τις αρχικές μελέτες στον τομέα μαθησιακών δυσκολιών (όπως για παράδειγμα του Orton, του Hishelwood κ.α.), υπάρχουν αναφορές για περιπτώσεις ατόμων με μαθησιακές δυσκολίες, οι οποίες ήταν κοινές σε αδέρφια, γονείς και άλλα συγγενικά άτομα, δηλαδή, καταγράφηκε συχνότερη εκδήλωση της δυσλεξίας σε οικογένειες στις οποίες κάποιο μέλος τους έφερε τα χαρακτηριστικά ατόμου με δυσλεξία από ό,τι στον τυπικό πληθυσμό (Anderson & Meier-Hedde, 2001).

Οι μελέτες κληρονομικότητας ή ποσοτικής γενετικής στοχεύουν να διαπιστώσουν κατά πόσο, αφενός, οι οικογενειακοί συσχετισμοί στη δυσλεξία υποδηλώνουν γενετική μετάδοση (κληρονομικότητα), και αφετέρου, την πιθανή επίδραση περιβαλλοντικών παραγόντων. Πολλές μελέτες σε παιδιά με αναγνωστικές αδυναμίες υποδηλώνουν ότι αυτές οι δυσκολίες είναι κληρονομικές, με την ύπαρξη αναγνωστικών δυσκολιών να είναι 8 φορές πιο πιθανή όταν υπάρχει ένας «πάσχων» γονέας (Grigorenko et al., 2001; Pennington, 1999).

Τέσσερις μελέτες σε πληθυσμό ενηλίκων κατέδειξαν ότι ο δείκτης κληρονομικότητας για αναγνωστικές δεξιότητες κυμαινόταν μεταξύ 0,45 και 0,74. Η μελέτη των Astrom et al. (2012) έδειξε ότι έως και το 70% όλων των αναγνωστικών ελλειμμάτων έχουν γενετική βάση. Η συχνότητα εμφάνισης περιβαλλοντικών μεταβλητών είναι μεγαλύτερη στους μονοζυγωτικούς διδύμους από ό,τι στους διζυγωτικούς ή σε άλλα αδέρφια. Η επίδραση της κληρονομικότητας επιβεβαιώθηκε και από τους Kirkpatrick et al., (2011), οι οποίοι υποστήριξαν ότι η γενετική ασκεί άνω του 70% επίδραση στις αναγνωστικές δυσκολίες και δεξιότητες, ενώ το περιβάλλον δεν ασκεί καμία επίδραση. Τα αποτελέσματα μελέτης από τους Stein et al., (2011), αν και λιγότερο ισχυρά, είναι εξίσου σημαντικά, αναφέροντας

ποσοστά κληρονομικότητας 45% σε δοκιμασία επανάληψης πραγματικών λέξεων με πολλές συλλαβές. Σύμφωνα με τα ευρήματα μελέτης για ενήλικες με αναγνωστικές δυσκολίες (Wadsworth, Olson, & DeFries, 2010), η επίδραση των γενετικών παραγόντων ήταν μεγαλύτερη στα άτομα με υψηλό δείκτη IQ, δηλαδή, ο γενετικός αντίκτυπος ήταν πιο εμφανής σε συγγενείς με δυσλεξία και δείκτη IQ παρόμοιο ή υψηλότερο από 100, ενώ οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ήταν πιο έντονες σε εκείνους με χαμηλότερο δείκτη IQ. Η αλληλεπίδραση μεταξύ της γενετικής και του IQ είχε ήδη επιβεβαιωθεί από την ίδια ερευνητική ομάδα σε παιδιά με δυσλεξία (Wadsworth et al., 2000).

Εντωμεταξύ, σε 7 μελέτες μοριακής γενετικής που διεξήχθησαν από το 1983 σε παιδιά με δυσλεξία και είχαν ως στόχο τον εντοπισμό δεικτών DNA, δηλαδή τους πιθανούς χρωμοσωμικούς πολυμορφισμούς / αποκλίσεις που σχετίζονται με σοβαρές αναγνωστικές δυσκολίες, βρέθηκαν αρκετοί συσχετισμοί με τα χρωμοσώματα 1 (Grigorenko et al., 2001; Rabin et al., 1993; Tzenova et al., 2004), 2 (Fagerheim et al., 1999; Francks et al., 2002; Petryshen et al., 2002; Kaminen et al., 2003), 3 (Nopola-Hemmi et al., 2001), 6 (Cardon et al., 1994; Grigorenko et al., 1997; Gayán et al., 1999; Fisher et al., 1999;), 15 (Scerri & Schulte-Körne, 2010; Grigorenko et al., 1997), και 18 (Fisher et al., 2002). Τα γονίδια που αναγνωρίζονται στα εν λόγω χρωμοσώματα θεωρούνται ότι συμμετέχουν λειτουργικά στη νευρική μετανάστευση και την ανώμαλη ανάπτυξη νευραξόνων, η οποία οδηγεί σε ανωμαλίες στην ανάπτυξη φλοιωδών και θαλαμο-φλοιωδών κυκλωμάτων (Galaburda et al., 2006).

Η έρευνα μοριακής γενετικής σε ενήλικες με αναγνωστικές δυσκολίες φανερώνει επίσης ότι πολλές χρωμοσωμικές τοποθεσίες εμπλέκονται τόσο στη δυσλεξία όσο και σε δεξιότητες που σχετίζονται με την ανάγνωση. Οι Anthoni et al. (2007) διαπίστωσαν ότι το γονίδιο CYP19A1 (5p21.2) εμπλέκεται στην ανάγνωση και την ομιλία. Οι Bates et al. (2011) επιβεβαίωσαν ότι το γονίδιο ROBO1 (3p12.3) εμπλέκεται στη βραχυπρόθεσμη ανάκληση τυχαίων φωνολογικών ακολουθιών. Επιπλέον, το ROBO1 έχει συσχετιστεί με τη δυσλεξία και έχει επίσης αποδειχθεί ότι συμμετέχει στη μετανάστευση των φλοιών των νευρώνων (Hannula-Jouppi et al., 2005; Andrews et al., 2006). Στη μελέτη τους, οι Newbury et al., (2011) κατέγραψαν συσχέτιση μεταξύ των σχετικών με την ανάγνωση μετρήσεων και γονιδιακών πολυμορφισμών CNTNAP2 (7q35-q36) και CMIP (16q24). Σύμφωνα με τους Marino et al.,

(2011) τα γονίδια DCDC2 (6p22.2) και DYX1C1 (15q21), εκτός από το ότι εμπλέκονται στη δυσλεξία, έχουν έναν πλειοτροπικό ρόλο στα μαθηματικά αλλά όχι στους φαινότυπους της γλώσσας. Άλλες μελέτες έχουν εντοπίσει διάφορους πολυμορφισμούς εντός ή κοντά στην περιοχή της διπλής κορτίνης που περιέχει το γονίδιο DCDC2 που σχετίζονται με τη δυσλεξία (Kere, 2011). Μαζί με τα δύο άλλα γονίδια για προδιάθεση δυσλεξίας (DYX1C1 και KIAA0319), το DCDC2 έχει αποδειχθεί ότι εμπλέκεται στη νευρωνική μετανάστευση στον αναπτυσσόμενο φλοιό σε αρουραίους (Meng et al., 2005; Burbidge et al., 2008; Wang et al., 2006; Paracchini et al., 2006). Το DCDC2 ανήκει στην υπεροικογένεια της περιοχής διπλής κορτίνης που περιέχει πρωτεΐνες που ρυθμίζουν την κυτταροσκελετική δυναμική δεσμεύοντας και σταθεροποιώντας μικροσωληνίσκους (Coquelle et al., 2006; Reiner et al., 2006). Ωστόσο, η κυτταρική λειτουργία του DCDC2 παραμένει ασαφής.

Οι Pagnamenta et al., (2010) βρήκαν ότι οι απώλειες στα γονίδια CNTNAP5 (2q14.3) και DOCK4 (7q31.1) αποτελούν παράγοντα κινδύνου για τη δυσλεξία, αν και μπορεί επίσης να εμπλέκονται στον αυτισμό. Τέλος, βρέθηκε επίσης συσχέτιση μεταξύ της δυσλεξίας και της θέσης ευαισθησίας στο χρωμόσωμα 15q (Schumacher et al., 2008). Ωστόσο, άλλες μελέτες δίνουν αντιφατικά αποτελέσματα. Για παράδειγμα, η μελέτη των Svensson et al., (2011), η οποία περιελάμβανε 62 μέλη της ίδιας οικογένειας που εκπροσωπούσαν 6 διαφορετικές γενεές, δεν επιβεβαίωσε την επίδραση γενετικών παραγόντων σε αναγνωστικές αδυναμίες. Ομοίως, οι Newbury et al., (2011), δεν μπόρεσαν να επιβεβαιώσουν την επίδραση των γονιδίων KIAA0319 (6p22.2) και DCDC2 στη δυσλεξία, αν και βρήκαν συσχέτιση μεταξύ του KIAA0319 και των δεξιοτήτων στον προφορικό λόγο.

2.2 Νευροφυσιολογικές μελέτες της ΕΑΔ

Σε αρκετές μελέτες κατά τα τελευταία 20 χρόνια, έχουν χρησιμοποιηθεί αρκετές τεχνικές για τη μελέτη της φυσιολογίας του εγκεφάλου σε ασθενείς με αναπτυξιακή δυσλεξία, όπως ηλεκτροεγκεφαλογραφία (ΗΕΓ) [electroencephalograph (EEG)], προκλητά δυναμικά και χαρτογράφηση ηλεκτρικής δραστηριότητας εγκεφάλου.

Οι Mahé et al., (2012, 2013) έχουν πραγματοποιήσει αρκετές μελέτες με προκλητά δυναμικά, και βρήκαν μειωμένο N170 στον συντονισμό οπτικοποίησης σε ενήλικες με δυσλεξία κατά

την αναγνώριση λέξεων, μεγαλύτερες καθυστερήσεις με περισσότερα σφάλματα στις ψευδολέξεις, και έλλειψη ημισφαιρικής εξειδίκευσης. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν αναφερθεί από τους Shany και Breznitz (2011): η ενεργοποίηση N170 ήταν μικρότερη στον οπτικό συνειρμικό φλοιό σε Εβραίους ομιλητές με δυσλεξία. Οι Korinth et al., (2011) διαπίστωσαν ότι το N170 απουσίαζε σε ποσοστό περίπου 40% των αργών αναγνωστών που δεν είχαν διαγνωστεί με δυσλεξία.

Οι Lallier et al., (2010) ανίχνευαν μειωμένο εύρος του P3b. Αυτό το στοιχείο σχετίζεται με άτυπη αντίληψη σε άτομα με δυσλεξία. Οι Savill και Thierry (2012) ανέφεραν επίσης μειωμένο εύρος P3b κατά την ανάγνωση ψευδοομόφωνων λέξεων. Ομοίως, οι Dhar et al. (2010) διαπίστωσαν απουσία μετωπιαίας ενίσχυσης του P3 στην κατάσταση Nogo και μειωμένο ανασταλτικό έλεγχο σε άτομα με δυσλεξία, ΔΕΠ-Υ και σε αμφότερες τις διαταραχές. Οι Mayseless και Breznitz (2011) σε μελέτη που πραγματοποίησαν σε Ισραηλινούς πανεπιστημιακούς φοιτητές, βρήκαν μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης και μικρότερες καθυστερήσεις των στοιχείων P1 και P2. Η ενεργοποίηση του εγκεφάλου μειώθηκε στο αριστερό ημισφαίριο κατά την προβολή συγκεκριμένων αντικειμένων και αυξήθηκε στο δεξί ημισφαίριο κατά την προβολή ψευδο-αντικειμένων. Επίσης, οι Mayseless και Breznitz (2011) μετά την εφαρμογή 2 εκπαιδευτικών προγραμμάτων, διαπίστωσαν μειωμένο εύρος και μεγαλύτερο λανθάνοντα χρόνο του στοιχείου P1, εύρημα το οποίο φαίνεται να υποδηλώνει ότι το εύρος και ο λανθάνων χρόνος αντισταθμίζονται μετά από οπτική εξάσκηση.

Από την άλλη, η μελέτη των Fosker και Thierry (2005) απέτυχε να εντοπίσει σημαντικές διαφορές στα P2, N2, P3a και P3b σε άτομα με δυσλεξία. Η μόνη διαφορά μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και ομάδας ελέγχου ήταν ένα έλλειμμα στη ρύθμιση N1 κατά τη διάρκεια δοκιμασίας φωνολογικής διάκρισης.

Ο Horowitz-Kraus (2012) αναφέρει μικρότερο εύρος ERN/Ne και καθυστερήσεις σε μια ομάδα ισραηλινών πανεπιστημιακών φοιτητών με δυσλεξία. Τα άτομα αυτά ήταν λιγότερο επιδέξια από την ομάδα ελέγχου και είχαν διαφορετικό επίπεδο στη δραστηριότητα ανίχνευσης σφαλμάτων. Ομοίως, σε μια μελέτη του Horowitz-Kraus, (2011) έφηβοι με δυσλεξία εμφάνισαν μικρότερο εύρος ERN σε σύγκριση με τους ενήλικες με δυσλεξία, καθώς και μια μικρότερη διαφορά N400 μεταξύ σωστών και εσφαλμένων αποκρίσεων.

Αρκετές μελέτες, κατά τη διάρκεια δοκιμασιών με συλλαβή (Hommet et al., 2009), με φωνήματα (van Beinum et al., 2005), και τονική διάκριση (Stoodley et al., 2006), διαπίστωσαν μειωμένο εύρος και λανθάνουσα κατάσταση στο αρνητικό δυναμικό ασυμφωνίας στο αριστερό ημισφαίριο. Ωστόσο, άλλες μελέτες δεν διαπίστωσαν διαφορές στο αρνητικό δυναμικό ασυμφωνίας στη διάκριση ομιλίας (Sebastian & Yasin, 2008).

Ερευνητές αναφέρουν χαμηλότερη εγκεφαλική δραστηριότητα, ταλαντώσεις γάμμα στο αριστερό ημισφαίριο κατά τη διάρκεια της φωνολογικής επεξεργασίας (Lehongre et al., 2013), αυξημένη ενεργοποίηση σε γλωσσική περιοχή γύρω από την περιοχή του Sylvian (Shaul, Arzouan, & Goldstein, 2012), και μειωμένη ακουστική ασυμμετρία M100 σε ενήλικες με δυσλεξία (Edgar et al., 2006). Παρομοίως, άλλες έρευνες αναφέρουν ατυπικά στοιχεία ακουστικών προκλητών δυναμικών, εύρημα το οποίο φανερώνει την παρουσία ανωμαλιών στη φλοιώδη ακουστική επεξεργασία και έλλειψη εγκεφαλικής πλευρίωσης για ακουστικά γνωρίσματα (Giraud et al., 2005).

2.3 Δομικές και Λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μελέτες

2.3.1 Δομικές νευροαπεικονιστικές μελέτες

Η MRI και η απεικόνιση τανυστή διάχυσης είναι οι τεχνικές δομικής νευροαπεικόνισης που χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της ανατομίας των εγκεφαλικών δομών σε άτομα με δυσλεξία. Οι συγκεκριμένες τεχνικές παρέχουν τρισδιάστατες εικόνες υψηλής ανάλυσης που καταγράφουν ποικιλομορφία αλλοιώσεων σε διαφορετικές περιοχές στη δομή του εγκεφάλου, όπως συνέβη σε μελέτες, οι οποίες είχαν ως στόχο την ανάλυση των μεταβολών στην γκρίζα ύλη σε έναν πληθυσμό ενηλίκων με δυσλεξία.

Σύμφωνα με τη μελέτη των Casanova et al., (2004) ενήλικες με δυσλεξία έχουν μικρότερο όγκο φλοιώδους γκρίζας ύλης και λιγότερη «ελικοποίηση», ειδικά στον αριστερό κροταφικό λοβό. Οι Richardson et al., (2011) υποστηρίζουν την υπόθεση ότι η πυκνότητα της γκρίζας ύλης στην οπίσθια περιοχή (αριστερή οπίσθια άνω κροταφική σχισμή) αποτελεί έναν προγνωστικό παράγοντα της χωρητικότητας της ακουστικής βραχυπρόθεσμης μνήμης σε άτομα τυπικής ανάπτυξης και άτομα με δυσλεξία. Η μελέτη των Frye et al., (2010) ανέφερε

μείωση στην επιφάνεια της εγκεφαλικής περιοχής και του όγκου της γκρίζας ύλης στον μετωπιαίο λοβό σε άτομα με δυσλεξία. Αυτό μπορεί να σχετίζεται με μεταβολές στην προγεννητική φλοιώδη πτυχή.

Οι Pernet et al., (2009) διαπίστωσαν ότι τα άτομα με δυσλεξία παρουσίασαν είτε μεγαλύτερο είτε μικρότερο όγκο γκρίζας ύλης στη δεξιά παρεγκεφαλίδα και στον δεξιό φακοειδή πυρήνα από ό,τι η ομάδα ελέγχου, εύρημα που συνδέεται με την παρουσία διαφορετικών φαινοτύπων δυσλεξίας. Επιπλέον, αυτή η μελέτη επιβεβαιώνει ότι τα άτομα με δυσλεξία με μικρότερο όγκο γκρίζας ύλης έχουν χαμηλή επίδοση σε φωνολογικές δοκιμασίες. Οι Steinbrink et al., (2008) αναφέρουν επίσης μειωμένο όγκο γκρίζας ύλης στην άνω κροταφική έλικα και των δύο ημισφαιρίων.

Από την άλλη πλευρά, άλλες μελέτες έχουν επιβεβαιώσει την παρουσία μεταβολών στον όγκο της λευκής ύλης σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου σε άτομα με δυσλεξία. Οι Lebel et al., (2013) διαπίστωσαν μειωμένο όγκο λευκής ύλης και στους δύο μετωπιαίους λοβούς σε ενήλικες με δυσλεξία. Οι Steinbrink et al., (2008) διαπίστωσαν μειωμένη κλασματική ανισοτροπία στη αμφίπλευρη μετωποκροταφική και αριστερή κροταφοβρεγματική λευκή ύλη.

Τέλος, η μελέτη των Chang et al., (2007) προτείνει μια συσχέτιση μεταξύ ορισμένων περικουλιακών οζιδίων γκρίζας ύλης και διαταραχών στη μικροδομή της λευκής ύλης, και μεταξύ του βαθμού ακεραιότητας της λευκής ύλης και της αναγνωστικής ικανότητας σε άτομα με δυσλεξία.

2.3.2 Λειτουργικές νευροαπεικονιστικές μελέτες

Οι νευροαπεικονιστικές μελέτες χρησιμοποιούν τεχνικές απεικόνισης της δραστηριότητας του εγκεφάλου, ανιχνεύοντας αλλαγές στη ροή του αίματος. Όταν δηλ., είναι ενεργοποιημένη μια περιοχή του εγκεφάλου, αυξάνεται επίσης η ροή αίματος σε αυτήν την περιοχή. Αυτές οι μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει διαφορετικές τεχνικές, όπως η λειτουργική μαγνητική τομογραφία (Russeler et al., 2018), η οποία καταγράφει εικόνες των εγκεφαλικών περιοχών που εκτελούν μια συγκεκριμένη δραστηριότητα, η λειτουργική διακρανιακή

υπερηχογραφία Doppler (Illingworth & Bishop, 2009), η οποία μετρά την ταχύτητα ροής αίματος του εγκεφάλου εκπέμποντας ηχητικά κύματα χαμηλής συχνότητας (2 MHz) που περνούν μέσω του κρανίου, η Τομογραφία εκπομπής ποζιτρονίων (PET), η οποία ανιχνεύει και αναλύει την τρισδιάστατη κατανομή ενός ραδιοανιχνευτή που χορηγείται ενδοφλεβίως (Horwitz, Rumsey & Donohue, 1998).

Ακολούθως, καταγράφονται τα αποτελέσματα 13 μελετών, οι οποίες μελετούν διαφορετικές γνωστικές διεργασίες και αναλύουν τη σχέση τους με την εγκεφαλική ενεργοποίηση, σε άτομα με δυσλεξία κατά τη διάρκεια ορισμένων λεκτικών και μη-λεκτικών δοκιμασιών.

Αρκετές μελέτες επιβεβαιώνουν ότι τα άτομα με δυσλεξία στερούνται ημισφαιρικής εξειδίκευσης στην ανάγνωση και γραφή και σε άλλες γλωσσικές δεξιότητες (Lehongre et al., 2013; Steinbrink et al., 2013; Park, Badzakova-Trajkov, & Waldie, 2012; Illingworth & Bishop, 2009). Ωστόσο, η μελέτη των Park et al., (2012) προσδιόρισε ένα αξιοσημείωτο μοτίβο δεξιάς πλευρίωσης σε ένα δίγλωσσο άτομο με δυσλεξία.

Οι ακόλουθες μελέτες έχουν καταγράψει χαμηλή εγκεφαλική ενεργοποίηση σε ποικίλες περιοχές του εγκεφάλου σε ενήλικες με δυσλεξία: Οι Steinbrink et al., (2013) κατά τη διάρκεια δοκιμασιών φωνολογικής και χρονικής επεξεργασίας, διαπίστωσαν χαμηλότερη ενεργοποίηση στον φλοιό της νησίδας σε ασθενείς με δυσλεξία από ό,τι στην ομάδα ελέγχου. Οι Díaz et al., (2012) κατά τη διάρκεια φωνολογικής επεξεργασίας και επεξεργασίας μεταβολών στα χαρακτηριστικά της φωνής, διαπίστωσαν χαμηλότερη ενεργοποίηση του έσω γονατώδους σώματος του πυρήνα (θαλάμου) και των φλοιικών κέντρων. Οι Peyrin et al., (2012) κατά τη διάρκεια μιας φωνολογικής δοκιμασίας σε ενήλικες με δυσλεξία, παρατήρησαν μειωμένη ενεργοποίηση της αριστερής κάτω γωνιώδους έλικας. Οι Pecini et al., (2011) παρατήρησαν μειωμένη ενεργοποίηση στο μετωπιαίο δίκτυο του αριστερού ημισφαιρίου που σχετίζεται με τη φωνολογική μνήμη εργασίας σε άτομα με δυσλεξία και ιστορικό καθυστέρησης στη γλωσσική ανάπτυξη. Στη μελέτη των Conway et al., (2008) άτομα με δυσλεξία εμφάνισαν αφενός, αυξημένη δραστηριότητα στην αριστερή οπίσθια άνω κροταφική και την κάτω βρεγματική περιοχή κατά τη διάρκεια γλωσσικών και μη-γλωσσικών ακουστικών δοκιμασιών στη μνήμη εργασίας, και αφετέρου, αυξημένη ενεργοποίηση στον πρωτεύοντα ακουστικό φλοιό κατά τη διάρκεια δοκιμασίας τονικών συγκρίσεων.

Ενήλικες με δυσλεξία έχουν επίσης βρεθεί να δείχνουν αυξημένη ενεργοποίηση της αριστερής κάτω μετωπιαίας έλικας κατά τη διάρκεια φωνολογικών δοκιμασιών (Dufor et al., 2009; MacSweeney et al., 2009).

Ομοίως, οι McCrory et al., (2005) κατά τη διάρκεια αναγνωστικής δοκιμασίας, διαπίστωσαν σημαντικά μειωμένη ενεργοποίηση της αριστερής ινιακής περιοχής. Οι Karni et al., (2005) σε αργή δοκιμασία ψευδολέξεων, βρήκαν ένα διαφορετικό πρότυπο εγκεφαλικής δραστηριότητας. Η αριστερή μετωπιαία έλικα (περιοχή Broca) και η καλύπτρα ενεργοποιούνται σε αναγνώστες με δυσλεξία, ενώ η ομάδα ελέγχου εμφανίζει ενεργοποίηση στις οπτικές περιοχές του αριστερού εξωταινιωτή φλοιού. Τέλος, οι Gilger et al., (2013) δεν εντόπισαν λειτουργικές διαφορές μεταξύ προικισμένων και μη-προικισμένων ατόμων με δυσλεξία.

2.4 Ο ρόλος του Electroencephalograph (EEG) στη διάγνωση της ΕΑΔ

Το EEG είναι μια ηλεκτροφυσιολογική μέθοδος παρακολούθησης για την καταγραφή της ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου. Είναι συνήθως μη επεμβατικό, με τα ηλεκτρόδια τοποθετημένα κατά μήκος του τριχωτού της κεφαλής, αν και μερικές φορές διεισδυτικά ηλεκτρόδια χρησιμοποιούνται, όπως στην ηλεκτροκορτικογραφία, και μερικές φορές ονομάζεται ενδοκρανιακό EEG.

Το EEG μετρά τις διακυμάνσεις τάσης που προκύπτουν από το ιοντικό ρεύμα στους νευρώνες του εγκεφάλου (Tandle & Jog, 2015). Κλινικά, το EEG αναφέρεται στην καταγραφή της αυθόρμητης ηλεκτρικής δραστηριότητας του εγκεφάλου για μια χρονική περίοδο, όπως καταγράφεται από πολλά ηλεκτρόδια τοποθετημένα στο τριχωτό της κεφαλής (Robbins et al., 2020). Οι διαγνωστικές εφαρμογές επικεντρώνονται γενικά είτε σε δυνατότητες που σχετίζονται με συμβάντα είτε στο φασματικό περιεχόμενο του EEG. Το πρώτο διερευνά πιθανές χρονικές διακυμάνσεις κλειδωμένες σε ένα συμβάν, όπως «έναρξη ερεθίσματος» ή «πάτημα κουμπιού». Το δεύτερο αναλύει τον τύπο των νευρικών ταλαντώσεων (ευρέως αποκαλούμενα «εγκεφαλικά κύματα») που μπορούν να παρατηρηθούν σε σήματα EEG στον τομέα συχνότητας.

Το EEG χρησιμοποιείται συχνότερα για τη διάγνωση της επιληψίας, η οποία προκαλεί ανωμαλίες στις αναγνώσεις EEG. Χρησιμοποιείται επίσης για τη διάγνωση διαταραχών ύπνου, βάθους αναισθησίας, κώματος, εγκεφαλοπαθειών και εγκεφαλικού θανάτου (Tatum, 2014). Είναι μια από τις λίγες διαθέσιμες τεχνικές και προσφέρει χρονική ανάλυση χιλιοστών του δευτερολέπτου που δεν είναι δυνατή με άλλες νευροαπεικονιστικές μεθόδους.

2.4.1 Ρυθμοί εγκεφαλογραφήματος/ συχνότητες κυμάτων εγκεφάλου

Όπως αναφέρθηκε, το EEG μετράει εγκεφαλικά κύματα διαφορετικών συχνοτήτων εντός του εγκεφάλου. Μια συχνότητα είναι ο αριθμός των φορών που ένα κύμα επαναλαμβάνεται μέσα σε ένα δευτερόλεπτο. Εάν κάποια από αυτές τις συχνότητες είναι ανεπαρκής, υπερβολική ή δύσκολη η πρόσβαση, η ψυχική μας απόδοση μπορεί να υποφέρει.

Το EEG συνήθως περιγράφεται σε διαφορετικές ζώνες συχνότητας: γ-Γάμμα μεγαλύτερη από 30 (Hz) β-Βήτα (13-30Hz), α-Άλφα (8-12 Hz), θ-Θήτα (4-8 Hz) και δ-Δέλτα (λιγότερο από 4 Hz) (Perera, Shiratuddin, & Wong, 2018).

δ-Δέλτα (0,1 έως 3,5 Hz)

Οι χαμηλότεροι ρυθμοί EEG εντοπίζονται στη συχνότητα δ-Δέλτα. Αυτοί είναι μικρότεροι από 4 Hz και εμφανίζονται σε βαθύ ύπνο και σε ορισμένες ανώμαλες διαδικασίες. Είναι ο κυρίαρχος ρυθμός σε βρέφη έως ενός έτους και υπάρχει στα στάδια 3 και 4 του ύπνου. Τείνει να έχουν το υψηλότερο πλάτος και τα πιο αργά κύματα. Τα κύματα δ-Δέλτα αυξάνονται προκειμένου να μειωθεί η ευαισθητοποίηση για τον φυσικό κόσμο. Επίσης μέσω του δ-Δέλτα υπάρχει πρόσβαση σε πληροφορίες στο ασυνείδητο του μυαλού. Οι κορυφαίοι ερμηνευτές μειώνουν τα κύματα του δ-Δέλτα όταν απαιτείται υψηλή εστίαση και κορυφαία απόδοση. Ωστόσο, τα περισσότερα άτομα που έχουν διαγνωστεί με Διαταραχή ελλειμματικής προσοχής, φυσικά αυξάνουν παρά μειώνουν τη δραστηριότητα του δ-Δέλτα όταν προσπαθούν να εστιάσουν. Η ακατάλληλη απόκριση του δ-Δέλτα συχνά περιορίζει σοβαρά την ικανότητα εστίασης και διατήρησης της προσοχής. Είναι σαν ο εγκέφαλος να είναι κλειδωμένος σε μια διαρκή κατάσταση υπνηλίας.

θ-Θήτα (4-8 Hz)

Ο επόμενος ρυθμός EEG είναι η θ-Θήτα. Η δραστηριότητα θ-Θήτα έχει συχνότητα 3,5 έως 7,5 Hz και ταξινομείται ως «αργή» δραστηριότητα. Σχετίζεται με τη δημιουργικότητα, τη διαίσθηση, την ονειροπόληση και τη φαντασία και είναι ένα αποθετήριο για αναμνήσεις, συναισθήματα, αισθήσεις. Τα κύματα θήτα είναι ισχυρά κατά τη διάρκεια της εσωτερικής εστίασης, του διαλογισμού, της προσευχής και της πνευματικής συνείδησης. Αντανακλά την κατάσταση μεταξύ αφύπνισης και ύπνου και σχετίζεται με το υποσυνείδητο. Θεωρείται ως ανωμαλία αν παρατηρηθεί σε ξύπνιους ενήλικες, αλλά είναι απόλυτα φυσιολογικό σε παιδιά έως 13 ετών. Είναι επίσης φυσιολογικό κατά τη διάρκεια του ύπνου. Η συχνότητα θ-Θήτα πιστεύεται ότι αντικατοπτρίζει τη δραστηριότητα από το μεταιχμιακό σύστημα και τη περιοχή του υποκάμπου. Η θ-Θήτα παρατηρείται όταν βρισκόμαστε σε κατάσταση άγχους, στην ενεργοποίηση και αναστολή συμπεριφοράς.. Όταν η θ-Θήτα φαίνεται να λειτουργεί κανονικά, μεσολαβεί και / ή προωθεί προσαρμοστικές, περίπλοκες συμπεριφορές όπως η μάθηση και η μνήμη. Υπό ασυνήθιστες συναισθηματικές συνθήκες, όπως το άγχος ή οι καταστάσεις ασθένειας, μπορεί να υπάρχει ανισορροπία τριών μεγάλων συστημάτων πομπού, η οποία οδηγεί σε παρεκκλίνουσα συμπεριφορά.

α-Άλφα -(8-12 Hz)

Τα κύματα άλφα είναι αυτά μεταξύ 8 και 12 (Hz). Τα κύματα άλφα κορυφώνονται περίπου στα 10Hz. Η καλή υγιής παραγωγή άλφα προάγει την ψυχική επινοητικότητα, βοηθά στην ικανότητα διανοητικού συντονισμού, ενισχύει τη συνολική αίσθηση χαλάρωσης και κόπωσης. Σε αυτήν την κατάσταση, μπορεί κάποιος να κινηθεί γρήγορα και αποτελεσματικά για να ολοκληρώσει όποια εργασία είναι διαθέσιμη. Όταν κυριαρχεί η α-Άλφα, οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται άνετα και ήρεμα. Η α-Άλφα φαίνεται να γεφυρώνει το συνειδητό με το υποσυνείδητο. Είναι ο κύριος ρυθμός που παρατηρείται σε φυσιολογικούς χαλαρούς ενήλικες - είναι παρόν κατά τη διάρκεια της πλειονότητας της ζωής, ειδικά μετά το 13ο έτος. Οι α-Άλφα ρυθμοί αναφέρονται ότι προέρχονται από τη λευκή ύλη του εγκεφάλου. Η λευκή ύλη μπορεί να θεωρηθεί το μέρος του εγκεφάλου που συνδέει όλα τα

μέρη μεταξύ τους. Η α-Άλφα είναι μια κοινή κατάσταση για τον εγκέφαλο και εμφανίζεται κάθε φορά που ένα άτομο είναι σε εγρήγορση (είναι δείκτης εγρήγορσης και ύπνου), αλλά δεν επεξεργάζεται ενεργά τις πληροφορίες. Είναι ισχυρότεροι στον ινιακό φλοιό (πίσω μέρος της κεφαλής) και επίσης στον μετωπιαίο φλοιό. Η α-Άλφα έχει συνδεθεί με την εξωστρέφεια (οι εσωστρεφείς εμφανίζουν λιγότερο), τη δημιουργικότητα και την ψυχική εργασία. Όταν η α-Άλφα βρίσκεται εντός φυσιολογικών ορίων, έχουμε την τάση να βιώνουμε επίσης καλές διαθέσεις, να βλέπουμε τον κόσμο αληθινά και να έχουμε μια αίσθηση ηρεμίας. Η α-Άλφα είναι μια από τις πιο σημαντικές συχνότητες του εγκεφάλου για να μάθει κανείς και να χρησιμοποιήσει πληροφορίες που διδάσκονται στην τάξη και στην εργασία.

β-Βήτα (πάνω από 12 Hz)

Η συχνότητα β-Βήτα είναι "γρήγορη" συχνότητα. Έχει συχνότητα 14 Hz και παραπάνω.. Αντανακλά τον αποσυγχρονισμένο ενεργό εγκεφαλικό ιστό. Συνήθως παρατηρείται και στις δύο πλευρές σε συμμετρική κατανομή και είναι πιο εμφανές μπροστά. Μπορεί να απουσιάζει ή να μειώνεται σε περιοχές με φλοιώδη βλάβη. Θεωρείται γενικά ως φυσιολογικός ρυθμός και είναι ο κυρίαρχος ρυθμός σε εκείνους που είναι σε εγρήγορση ή ανήσυχοι ή που έχουν τα μάτια τους ανοιχτά. Είναι η κατάσταση στην οποία βρίσκεται το μεγαλύτερο μέρος του εγκεφάλου όταν ανοίξουμε τα μάτια μας και ακούμε και σκεφτόμαστε κατά την αναλυτική επίλυση προβλημάτων, την κρίση, τη λήψη αποφάσεων, την επεξεργασία πληροφοριών για τον κόσμο γύρω μας. Η συχνότητα β-Βήτα έχει σχετικά μεγάλο εύρος και έχει χωριστεί σε χαμηλή, μεσαία και υψηλή.

Χαμηλή β-Βήτα (12-15Hz): Η κατανομή: εντοπίζεται πλάι και στο λοβό (μετωπικό, ινιακό, κ.λπ.). Η υποκειμενική αίσθηση είναι χαλαρή αλλά εστιασμένη, ολοκληρωμένη. Ο χαμηλός αισθητηριακοκινητικός ρυθμός μπορεί να σχετίζεται με την έλλειψη εστιασμένης προσοχής.

Μεσαία β-Βήτα (15-18hz): Η κατανομή: εντοπίζεται, σε διάφορες περιοχές. Μπορεί να εστιαστεί σε ένα ηλεκτρόδιο. Η υποκειμενική αίσθηση δηλώνει: σκέψη, επίγνωση του εαυτού και του περιβάλλοντος. Σχετίζεται με τη ψυχική δραστηριότητα.

Υψηλή β-Βήτα (πάνω από 18hz): Η κατανομή εντοπίζεται εύκολα και μπορεί να είναι πολύ εστιασμένη. Η υποκειμενική αίσθηση δηλώνει: εγρήγορση, διέγερση. Σχετίζεται με εργασίες και συμπεριφορές: που αφορούν τη ψυχική δραστηριότητα, π.χ. μαθηματικά, προγραμματισμός

γ-Γάμμα (πάνω από 30Hz Hz)

Η συχνότητα γ-Γάμμα μετράται μεταξύ 30 και 44 (Hz) και είναι η μόνη ομάδα συχνοτήτων που βρίσκεται σε κάθε μέρος του εγκεφάλου. Όταν ο εγκέφαλος πρέπει να επεξεργάζεται ταυτόχρονα πληροφορίες από διαφορετικές περιοχές, υποθέτει ότι η δραστηριότητα των 40Hz ενοποιεί τις απαιτούμενες περιοχές για ταυτόχρονη επεξεργασία. Μια καλή μνήμη σχετίζεται με καλά ρυθμιζόμενη και αποτελεσματική δραστηριότητα 40Hz, ενώ η ανεπάρκεια 40Hz δημιουργεί μαθησιακές δυσκολίες. Η κατανομή της γ-Γάμμα είναι πολύ τοπική. Το υποκειμενικό συναίσθημα δηλώνει σκέψη και ολοκληρωμένες σκέψεις ενώ σχετίζεται με την επεξεργασία πληροφοριών υψηλού επιπέδου

2.5 Μορφές προσέγγισης μέσω EEG καταγραφών

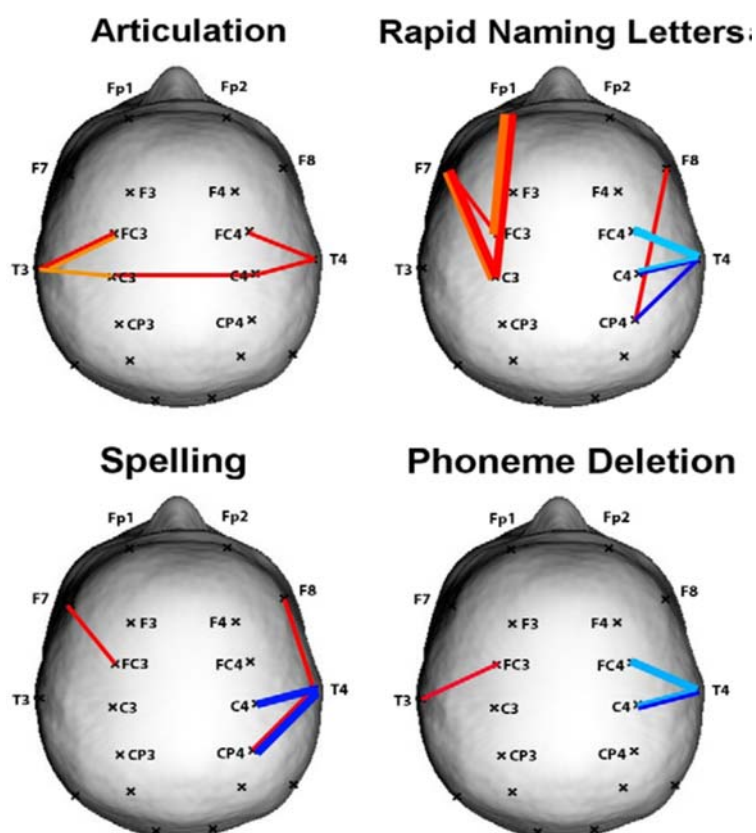
Οι περισσότερες μελέτες εστιάζουν στις αλλαγές που παρατηρούνται στους ρυθμούς EEG όταν υποβάλλουν το δείγμα της μελέτης τους, εν προκειμένω τα παιδιά με δυσλεξία, σε εργασίες που σχετίζονται άμεσα με τις δυσκολίες ανάγνωσης. Οι Rippon και Brunswick (2000) διαπίστωσαν ότι τα παιδιά με δυσλεξία εμφάνισαν αυξημένη μετωπική δραστηριότητα θ-θήτα σε μια φωνολογική εργασία, ενώ δεν παρατηρήθηκαν διαφορές μεταξύ της ομάδας με δυσλεξία και της ομάδας ελέγχου σε μια οπτική δοκιμασία. Επιπρόσθετα, υπήρχε αξιοσημείωτη αύξηση στη δραστηριότητα του ρυθμού β-βήτα στο δεξί βρεγματικό-ινιακό μέρος στα παιδιά με δυσλεξία όταν επιτελούσαν φωνολογική σε σχέση με την οπτική δοκιμασία. Διάφορες μελέτες (Perera, Shiratuddin, & Wong, 2018) που πραγματοποιήθηκαν σε σύγκριση που έκαναν σε άτομα με δυσλεξία και σε άτομα με καλές ικανότητες γραφής/ ανάγνωσης κατέληξαν ότι τα παιδιά με δυσλεξία παρουσιάζουν μεγαλύτερη συνοχή στους ρυθμούς δ-δέλτα, θ-θήτα και β-βήτα ενώ παρουσιάζουν

χαμηλότερη συνοχή στις α-άλφα συχνότητες κατά τη διάρκεια της χαλάρωσης. Επιπρόσθετα, η συνοχή του EEG στις διαφορετικές ζώνες συχνότητων παίζει διαφορετικό ρόλο κάθε φορά: η αυξημένη συνοχή στη ζώνη θ-θήτα συσχετίζεται με τις μνημονικές διεργασίες που σχετίζονται με τη γλώσσα και η συνοχή του ρυθμού θ-θήτα αυξάνεται όταν οι απαιτήσεις των εργασιών θέλουν πιο αποτελεσματική επεξεργασία πληροφοριών (Paragiannopoulou & Lagopoulos, 2016). Η συνοχή του ρυθμού α-άλφα φαίνεται σημαντική για την αισθητηριακή επεξεργασία ενώ παρατηρείται περαιτέρω αύξηση της συνοχής α-άλφα όταν επρόκειτο για σημασιολογική επεξεργασία. Σε πρόσφατη μελέτη (Dhar et al., 2010), κατά τη διάρκεια δοκιμασίας οπτικοακουστικής προσοχής, διαπιστώθηκε μειωμένη και διάχυτη ενδοημισφαιρική συνοχή της δραστηριότητας άλφα στον κεντρικό-βρεγματικό φλοιό. Η συνοχή των ρυθμών β-βήτα και γ-γάμμα έχει συνδεθεί με πιο περίπλοκες γλωσσικές υπο-διαδικασίες, όπως η σύνταξη ή η σημασιολογία.

Ευρήματα του EEG από τη βιβλιογραφική έρευνα (Kandel et al., 2017) δείχνουν αυξημένη αριστερή μετωπική και δεξιά κροταφική αργή δραστηριότητα στις ζώνες δ-δέλτα και θ-θήτα και αυξημένη ισχύ β-βήτα 1 στο F7. Τα δεδομένα συνοχής EEG δείχνουν αυξημένη συνοχή σε μετωπικές, κεντρικές και κροταφικές περιοχές. Ωστόσο, οι αυξημένες συνοχές φάνηκαν να δείχνουν ένα συγκεκριμένο αποτέλεσμα συχνότητας, όπου οι βραδύτεροι ρυθμοί (δ-δέλτα και θ-θήτα) έδειξαν μια πιο συμμετρική αύξηση στα δεξιά και αριστερά μετωπικά, κεντρικά και κροταφικά δίκτυα, ενώ οι υψηλότερες συχνότητες (α-άλφα και β-βήτα) έδειξαν περισσότερο ειδικό δεξιό ημισφαιρικό αποτέλεσμα που προέρχεται από T4 και F8. Η συσχετιστική ανάλυση έδειξε ότι αυτές οι αυξημένες συνοχές ήταν από μόνες τους ένα αποτέλεσμα, καθώς δεν υπήρχαν συσχετισμοί μεταξύ της αυξημένης ισχύος δ-δέλτα και θ-θήτα αφενός και της αυξημένης συνοχής στην αντίστοιχη ζώνη από την άλλη. Η υψηλή συνοχή μεταξύ δύο σημάτων EEG υποδηλώνει υψηλή συνεργασία και συγχρονισμό μεταξύ των υποκείμενων περιοχών του εγκεφάλου εντός μιας συγκεκριμένης ζώνης συχνότητων (Arns et al., 2007). Αυτό θα μπορούσε να σημαίνει ότι τα παιδιά με δυσλεξία έχουν αυξημένη δραστηριότητα στο μετωπιαίο, κεντρικό και κροταφικό δίκτυο.

Οι συσχετιστικές αναλύσεις αποκάλυψαν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των λαμβανόμενων σημαντικών ευρημάτων EEG και των τεστ: άρθρωση, ταχεία ονομασία γραμμάτων, ορθογραφία και διαγραφή φωνητικών.

Εικόνα 2: Συσχετισμοί μεταξύ υποδιαίρέσεων δυσλεξίας και σημαντικών συνοχών EEG στις διάφορες ζώνες ΗΕΓ. Κόκκινο = δ-δέλτα; Πορτοκαλί = θ-θήτα; Ανοιχτό μπλε = α-Άλφα; Σκούρο μπλε = β- βήτα.



Τα συσχετισμένα μοτίβα όπως απεικονίζονται στην Εικόνα 2, έδειξαν αρκετά συγκεκριμένα μοτίβα για αυτές τις 4 υπο-δοκιμές. Είναι ενδιαφέρον ότι όλες αυτές οι συσχετίσεις ήταν θετικές και υψηλές, υποδηλώνοντας ότι η καλύτερη απόδοση σε αυτές τις δοκιμές συσχετίστηκε με αυξημένη συνοχή. Το EEG στο παρόν σχήμα δεν καταγράφηκε κατά την ολοκλήρωση των ειδικών δοκιμών δυσλεξίας, αλλά η καταγραφή του έγινε σε κατάσταση ηρεμίας που συσχετίζεται πιο πολύ με αυτές τις δοκιμές. Φαίνεται να υπάρχει σαφής διάκριση μεταξύ της συνοχής δ-δέλτα αφενός και της συνοχής β-βήτα από την άλλη. Η αυξημένη συνοχή για τα παιδιά με δυσλεξία ήταν εμφανής και συμμετρική για τη δ-δέλτα συχνότητα αλλά εντοπίζεται στο αριστερό ημισφαίριο για τη συχνότητα β-βήτα. Οι συσχετίσεις αποδεικνύουν επίσης, ένα αργό (δ-δέλτα και θ-θήτα) συνεκτικό δίκτυο πάνω από την αριστερή μετωπική και κεντρική περιοχή και ένα ταχύτερο (α-άλφα και β-βήτα)

δίκτυο που προέρχεται από το T4. Η βασική δυσλειτουργία στη δυσλεξία φαίνεται να συνίσταται σε αυξημένη αργή δραστηριότητα στις αριστερές μετωπικές και δεξιές κροταφικές περιοχές (T6) και σε αμφίπλευρη αυξημένη συνοχή στις βραδύτερες ζώνες συχνότητων (δ-δέλτα και θ-θήτα), σε αντίθεση με τους αποκτηθέντες αντισταθμιστικούς μηχανισμούς του δεξιού ημισφαιρίου που παρουσιάζουν αυξημένη συνοχή στις ζώνες υψηλότερης συχνότητας (α-άλφα και β-βήτα) και μια αριστερή μετωπική αυξημένη συνοχή σε βραδύτερες ζώνες που προέρχονται από C3 και FC3. Τέλος, Οι αυξήσεις της συνοχής του ρυθμού δ-δέλτα στο μετωπιαίο-κεντρικό δίκτυο υποδηλώνουν ισχυρή εμπλοκή του άκρου ως μέρος του κεντρικού ελλείμματος στη δυσλεξία.

2.6 Ακουστική/Φωνολογική αντίληψη και καταγραφή EEG σημάτων

Η ακουστική θεωρία της ελλειμματικής χρονικής επεξεργασίας της δυσλεξίας έχει εξεταστεί με μια ποικιλία ερεθισμάτων και εργασιών (για μια ανασκόπηση βλ. Härmäläinen et al., 2012b). Ψυχοφυσικές μελέτες που διερευνούν την αντίληψη του χρόνου έναρξης του ήχου διαπίστωσαν σημαντικά χαμηλότερη απόδοση ατόμων με δυσλεξία σε σύγκριση με άτομα τυπικής ανάγνωσης (παιδιά: Richardson et al., 2004; ενήλικες: Härmäläinen et al., 2005; Pasquini et al., 2007). Επιπλέον, η επίδοση στις δοκιμασίες εντοπισμού χρόνου έναρξης συσχετίστηκε με την ικανότητα ανάγνωσης, ορθογραφίας και φωνολογικής ενημερότητας (π.χ. Goswami et al., 2002; Härmäläinen et al., 2005; Muneaux et al., 2004; Pasquini et al., 2007; Richardson et al., 2004). Ομοίως, μελέτες ανίχνευσης Διαμόρφωσης Πλάτους (ΔΠ) έδειξαν αυξημένα όρια ανίχνευσης ΔΠ για ρυθμούς διαμόρφωσης μεταξύ 4 και 1024 Hz σε παιδιά (Lorenzi et al., 2000; Rocheron et al., 2002) και ενήλικες (McAnally et al., 1997; Menell et al., 1999) με δυσλεξία. Ωστόσο, βρέθηκαν αντιφατικά αποτελέσματα για τους ρυθμούς ΔΠ, όπου ενώ στα παιδιά οι μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στις ομάδες βρέθηκαν κοντά στα 4 Hz, τα αποτελέσματα σε ενήλικες ήταν λιγότερο σαφή. Οι Witton et al. (2002) διαπίστωσαν αυξημένα όρια ανίχνευσης ΔΠ 20 Hz σε ενήλικες με δυσλεξία, αλλά παρατήρησαν συγκρίσιμα όρια ΔΠ 2 Hz μεταξύ των δύο ομάδων. Αντιθέτως, οι Stuart et al. (2006), βρήκαν αυξημένα όρια ανίχνευσης ΔΠ σε ενήλικες με δυσλεξία στο αργό εύρος ΔΠ στα 1 Hz, αλλά όχι στα 100 Hz. Εκτός από τις χρονικές διαφορές στο πλάτος, τα άτομα με δυσλεξία φαίνεται επίσης να επηρεάζονται στην επεξεργασία σημάτων που κυμαίνονται στη

συχνότητα (δηλαδή τη Διαμόρφωση Συχνότητας, ΔΣ). Μελέτες έχουν βρει χαμηλότερη απόδοση στα σήματα ΔΣ χαμηλού ρυθμού σε ενήλικες (Witton et al., 2000) και παιδιά (Talcott et al., 2000; Boets et al., 2006) με δυσλεξία σε σύγκριση με τους συνομιλητές τους με τυπική ανάγνωση. Η ευαισθησία στον αργό ρυθμό ΔΣ σχετίστηκε με την ανάγνωση ψευδολέξεων και τη φωνολογική ενημερότητα (Witton et al., 1998; Boets et al., 2008; Boets et al., 2011; Witton et al., 2002; Stuart et al., 2006; Talcott et al., 1999).

Παρά τον αυξανόμενο αριθμό μελετών συμπεριφοράς που υποδεικνύουν μειωμένη ευαισθησία σε ακουστικά χρονικά στοιχεία σε άτομα με δυσλεξία, οι νευρικοί μηχανισμοί που διέπουν αυτό το έλλειμμα εξακολουθούν να είναι ασαφείς. Πρόσφατα προτάθηκε ότι τα ακουστικά προβλήματα χρονικής επεξεργασίας στη δυσλεξία οφείλονται σε μια νευρική δυσλειτουργία ενεργοποίησης της αυθόρμητης ταλαντωτικής εγκεφαλικής δραστηριότητας (Goswami, 2011). Αρκετές μελέτες ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (EEG) και μαγνητοεγκεφαλογραφίας (MEG) επιβεβαιώνουν αυτήν την προσέγγιση καθώς διαπίστωσαν νευροφυσιολογικές αποκλίσεις μεταξύ ατόμων τυπικής ανάπτυξης και ατόμων με δυσλεξία σε μια ποικιλία χρονικών ερεθισμάτων, συμπεριλαμβανομένου του χρόνου έναρξης του ήχου, της ΔΠ και της ΔΣ.

Μελέτες EEG που εξέτασαν την ευαισθησία στην έναρξη του ήχου βρήκαν στοιχεία για αποκλίνοντα Γνωστικά Προκλητά Δυναμικά (ΓΠΔ) σε άτομα με δυσλεξία (Hämäläinen et al., 2007; 2008; 2011; Stefanics et al., 2011). Η ανάλυση δεδομένων έδειξε ότι στους συμμετέχοντες με τυπική ανάγνωση τα στοιχεία ΓΠΔ για τα ερεθίσματα του χρόνου έναρξης πλευριώνονται στο αριστερό ημισφαίριο, ενώ στους συμμετέχοντες με δυσλεξία δεν βρέθηκε πλευρίωση ΓΠΔ λόγω σημαντικά χαμηλότερου πλάτους στο αριστερό ημισφαίριο σε σύγκριση με τους τυπικούς αναγνώστες (Khan et al., 2011).

Παρόμοια ευρήματα παρατηρήθηκαν στην απόκριση σε ερεθίσματα ΔΠ, όπου οι διαμορφώσεις του φωνητικού ρυθμού βρέθηκαν να είναι λιγότερο πλευριωμένες στο αριστερό ημισφαίριο σε άτομα με δυσλεξία συγκριτικά με τους συμμετέχοντες τυπικής ανάγνωσης, και σχετιζόντουσαν με τη φωνολογική επίδοση (Lehongre et al., 2011). Επιπλέον, βρέθηκαν ομαδικές διαφορές στην επεξεργασία των διαμορφώσεων συλλαβικού ρυθμού. Στους τυπικούς αναγνώστες, αυτές οι διαμορφώσεις βρέθηκαν να υφίστανται σταθερή επεξεργασία στο δεξί ημισφαίριο, ενώ οι αναγνώστες με δυσλεξία έδειξαν μια συμμετρική

οργάνωση (Abrams et al., 2008; 2009; Härmäläinen et al., 2012a). Σε απόκριση στα ερεθίσματα ΔΠ, τα ΓΠΔ ήταν χαμηλότερα στα 20 Hz αλλά όχι στα 240 Hz ΔΠ σε ενήλικες με δυσλεξία, παρόλο που αυτοί οι συμμετέχοντες δεν παρουσίασαν διαφορετικές ψυχοφυσικές επιδόσεις (Stoodley et al., 2006).

Συνολικά, αυτές οι μελέτες δείχνουν μια νευροφυσιολογική διαταραχή στην επεξεργασία ακουστικών χρονικών πληροφοριών, υποδηλώνοντας ότι η ενσωμάτωση ακουστικών πληροφοριών στο φωνολογικό σύστημα δεν είναι η βέλτιστη στη δυσλεξία. Ωστόσο, η ακριβής προέλευση αυτής της νευρικής δυσλειτουργίας κατά μήκος της ακουστικής οδού είναι ακόμα άγνωστη.

2.7 Μουσική και καταγραφή EEG σημάτων

2.7.1 Νευροφυσιολογία γλωσσικών στοιχείων και μουσικής αντίληψης

Αρκετές μελέτες που έχουν επικεντρωθεί στη διερεύνηση των κοινών στοιχείων που υπάρχουν ανάμεσα στα γλωσσικά στοιχεία, όπως είναι η φωνολογική ενημερότητα, και τη μουσική αντίληψη, υπεστήριξαν ότι τόσο η μουσική, όσο και η γλώσσα μοιράζονται κοινές εγκεφαλικές περιοχές (Koelsch et al., 2002; Καραπέτσας & Λασκαράκη, 2018). Η επεξεργασία τόσο του γλωσσικού, όσο και του μουσικού ήχου παρουσιάζει ομοιότητα σε επίπεδο εμπλοκής νευροανατομικών δομών και λειτουργιών (Peretz & Zatorre, 2005). Η επεξεργασία των συγκεκριμένων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του ήχου (γλωσσικού και μουσικού) απαιτεί τη διαφοροποίηση και την εξειδίκευση των εγκεφαλικών ημισφαιρίων. Πιο συγκεκριμένα, βασικές εγκεφαλικές περιοχές στο δεξί ημισφαίριο είναι υπεύθυνες για την αντίληψη του τονικού ύψους και την αντίληψη συγκεκριμένων στοιχείων της ομιλίας, όπως η προσωδία (Platel et al., 1997). Άλλες δομές στο αριστερό ημισφαίριο είναι υπεύθυνες για την αντίληψη του ρυθμού στη μουσική, τη ρυθμική ακουστικότητα και συγκεκριμένων στοιχείων στον λόγο όπως ο εντοπισμός, η εκτίμηση ομοιοκαταληξίας και η φωνημική διάκριση (Zatorre & Schönwiesner, 2011). Διαφορετική εγκεφαλική δραστηριότητα και ενεργοποίηση υπάρχει στην επεξεργασία της συχνότητας και του χρόνου, δηλαδή των φασματικών και των χρονικών χαρακτηριστικών τόσο για τον μουσικό, όσο και τον γλωσσικό ήχο. Ο εγκέφαλος επεξεργάζεται τα ακουστικά ερεθίσματα (γλωσσικά και μουσικά) με

παρόμοιο τρόπο, βάσει των χρονικών και των φασματικών ιδιοτήτων, οι οποίες σχετίζονται με τη συχνότητα του ακουστικού σήματος – ερεθίσματος. Τέλος, για τη γλωσσική και ακουστική επεξεργασία υπεύθυνες εγκεφαλικές περιοχές είναι ο κάτω πλαγιομετωπιαίος, ο πρόσθιος και ο οπίσθιος κροταφικός λοβός και στα δύο ημισφαίρια (Lathroum, 2011).

2.7.2 Ο ρόλος της μουσικής στην καταγραφή EEG σημάτων

Το επιστημονικό ενδιαφέρον για τη μελέτη της επίδρασης της μουσικής σε διάφορες ψυχολογικές λειτουργίες έχει αυξηθεί σημαντικά. Με βάση έρευνες που διεξήχθησαν από τους North et al., (2004) και Krause et al., (2015), οι ερωτηθέντες ανέφεραν ότι η μουσική είναι σημαντική για αυτούς και ότι άκουγαν μουσικά κομμάτια τουλάχιστον για 1 ώρα την ημέρα. Ένας πιθανός λόγος για ένα τόσο υψηλό ποσοστό ακρόασης μουσικής στην καθημερινή ζωή μπορεί να σχετίζεται με το γεγονός ότι η μουσική έχει προηγουμένως αποδειχθεί ότι χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση των συναισθημάτων (Thoma et al., 2006). Επιπλέον, οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία έθεσαν τη μουσική στην πρώτη γραμμή των κοινών πρακτικών των ανθρώπων, με άμεση πρόσβαση σε αμέτρητες μουσικές βιβλιοθήκες (North et al., 2004).

Η επιρροή της μουσικής υπόκρουσης σε διάφορες δραστηριότητες και στη γνώση εν γένει εξακολουθεί να συζητείται. Το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας που έχει δημοσιευτεί μέχρι στιγμής έχει επικεντρωθεί στην έκθεση στη μουσική σε ένα περιβάλλον που σχετίζεται με την εργασία ή ενώ το άτομο ασχολείται με δραστηριότητες ρουτίνας όπως η οδήγηση αυτοκινήτου (Jäncke et al., 1994; Furnham & Bradley, 1997). Έχει επίσης διερευνηθεί η επίδραση της μουσικής υπόκρουσης στην επίδοση δεξιοτήτων και ακαδημαϊκών καθηκόντων που σχετίζονται με το σχολείο (Fogelson, 1973; Etaugh & Ptasnik, 1982; Crawford & Strapp, 1994; Hallam et al., 2002; Doyle & Furnham, 2012). Αν και τα αποτελέσματα είναι μικτά, γνωστικές λειτουργίες όπως η λεκτική μάθηση δεν έχουν βρεθεί να επηρεάζονται από την παρουσία μουσικής υπόκρουσης (Jäncke & Sandmann, 2010). Άλλες μελέτες έχουν αποκαλύψει καλύτερη επίδοση σε δοκιμασίες αναδίπλωσης και κοπής χαρτιού κατά τη διάρκεια διέγερσης ακουστικού υποβάθρου σε αντίθεση με τη σιωπή (Nantais & Schellenberg, 1999; Thompson et al., 2001). Μια θετική επιρροή της μουσικής

υπόκρουσης βρέθηκε επίσης στη δημοφιλή μελέτη των Rauscher et al., (1993) όπου η εκτέλεση μιας εργασίας αφηρημένης / χωρικής συλλογιστικής βελτιώθηκε χρονικά μετά την ακρόαση μουσικής. Είναι επίσης γνωστό ότι η μουσική επηρεάζει θετικά την επίδοση της μνήμης (Peynircioglu et al., 1998; Platel, 2005; Eschrich et al., 2008). Αυτό οφείλεται στο χαρακτηριστικό της μουσικής να προκαλεί έντονα συναισθήματα που με τη σειρά τους αυξάνουν την επίδοση της μνήμης (Jäncke, 2008). Μια θετική επιρροή της μουσικής υπόκρουσης έχει επίσης βρεθεί σε συναισθηματικές αντιδράσεις και αθλητικά επιτεύγματα (Kämpfe et al., 2011). Αντιστρόφως, ορισμένες μελέτες έχουν δείξει ότι η επίδοση είναι καλύτερη χωρίς τη μουσική υπόκρουση (Furnham & Bradley, 1997; Sousou, 1997). Επιπλέον, ορισμένες μελέτες έχουν καταλήξει στο συμπέρασμα ότι η μουσική έχει επιζήμια αποτελέσματα στην ολοκλήρωση των δοκιμών μνήμης, στην αναγνωστική κατανόηση (Furnham & Bradley, 1997) ή στην οδήγηση ενός αυτοκινήτου σε περιβάλλον προσομοίωσης υπολογιστή (Jäncke et al., 1994). Μια μετα-ανάλυση από τους Kämpfe et al. (2011) αποκάλυψε επίσης ότι η μουσική υπόκρουση έχει αρνητική επίδραση στην αναγνωστική κατανόηση και σε μια ποικιλία μνημονικών δοκιμασιών.

Λίγα είναι γνωστά για την επίδραση της μουσικής υπόκρουσης στις εκτελεστικές λειτουργίες. Μια μελέτη των Zuk et al., (2014) αποκαλύπτει ότι ορισμένες εκτελεστικές δεξιότητες μπορεί να ωφεληθούν από τη μουσική εκπαίδευση. Σχεδόν όλες οι καθημερινές δραστηριότητες, όπως οι αγορές και η εργασία, εξαρτώνται από εκτελεστικές λειτουργίες που απαιτούνται για τη διαχείριση του γνωστικού ελέγχου. Σύμφωνα με τους Squire et al., (2012), ο όρος «γνωστικός έλεγχος» περιγράφει την ικανότητα πρόβλεψης πιθανών αποτελεσμάτων και εκκίνησης κατάλληλων ενεργειών για την επίτευξη ενός δεδομένου στόχου. Ο γνωστικός έλεγχος περιλαμβάνει ένα ολόκληρο υποσύστημα διεργασιών, όπως εκκίνηση, αναστολή, μετατόπιση, παρακολούθηση, καθοδήγηση, σχεδιασμός και προσομοίωση πιθανών αποτελεσμάτων (Gazzaniga & Mangun, 2014). Οι ανασταλτικοί μηχανισμοί εξετάζονται συνήθως χρησιμοποιώντας μια δοκιμασία Go / NoGo (Falkenstein et al., 1999). Σε μια τέτοια δοκιμασία, οι συμμετέχοντες καλούνται να εκτελέσουν μια εντολή σε συγκεκριμένα ερεθίσματα (Go) ή να συγκρατήσουν την απόκριση (NoGo) όταν παρουσιάζονται τα ανάλογα ερεθίσματα. Μια παραλλαγή αυτής της δοκιμασίας είναι η επονομαζόμενη και συχνά χρησιμοποιούμενη δοκιμασία οπτικής συνεχούς απόδοσης (VCTP) (Kropotov et al., 2011, 2016, 2017; Meier et al., 2012; Kropotov & Ponomarev, 2015).

Με βάση το γεγονός ότι οι διαδικασίες γνωστικού ελέγχου είναι πανταχού παρούσες στις περισσότερες από τις καθημερινές μας δραστηριότητες, και λαμβάνοντας υπόψη τον ουσιαστικό ρόλο της μουσικής στον πολιτισμό μας, οι επιδράσεις της μουσικής υπόκρουσης στη γνωστική επίδοση αξίζουν μεγαλύτερης προσοχής. Σε μία αρκετά ενδιαφέρουσα μελέτη των Burkhard et al., (2018), συνελέγησαν δεδομένα συμπεριφοράς και δεδομένα ηλεκτροεγκεφαλογραφίας, ενώ οι συμμετέχοντες πραγματοποίησαν το VCPT τρεις φορές με τυχαία σειρά. Η πειραματική διαδικασία αποτελείτο από 3 συνθήκες (α) χωρίς μουσική (NM), (β) ενώ άκουγαν ένα χαλαρωτικό τραγούδι (RLX), και (γ) ενώ άκουγαν ένα διεγερτικό τραγούδι (EXC). Τα μουσικά κομμάτια επιλέχθηκαν για να ελέγξουν εάν διαφορετικοί βαθμοί διέγερσης επηρεάζουν διαφορετικά τις ανασταλτικές λειτουργίες. Δεν βρέθηκαν διαφορές στα δύο στοιχεία ενδιαφέροντος (N2, P3) ως συνάρτηση μιας διαφορετικής ακουστικής υπόκρουσης. Το πλάτος του NoGo-N2 σχετίζεται με μια επιτυχή αναστολή μιας απόκρισης, όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή (Falkenstein et al., 1999). Επιπλέον, δεν βρέθηκαν επιβλαβείς επιδράσεις της μουσικής υπόκρουσης στην επίδοση σε δοκιμασίες Go / NoGo. Ως εκ τούτου, οι ερευνητές πρότειναν ότι η μουσική υπόκρουση δεν έχει διασπαστικές επιπτώσεις στην εκτέλεση ενός γνωστικού ελέγχου μέτριας δυσκολίας, ακόμη και αν διαρκεί για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Αντίθετα, οι δύο μουσικές συνθήκες έδειξαν σημαντική αύξηση στην αξιολόγηση της διέγερσης, εύρημα το οποίο εκλαμβάνεται ως θετικό, και ακόμη περισσότερο όταν η δοκιμασία που εκτελείται είναι επαναλαμβανόμενη και ως εκ τούτου βαρετή μετά από μια ορισμένη χρονική περίοδο. Παρολαυτά, δεν επαληθεύτηκαν ευρήματα άλλων μελετών οι οποίες υποστήριζαν ότι η παρουσία μουσικής υπόκρουσης οδηγεί σε καλύτερη επίδοση σε σύγκριση με τη σιωπή σε δοκιμασίες με αφηγήσεις ιστοριών (Nantais & Schellenberg, 1999; Thompson et al., 2001).

Μια άλλη μελέτη η οποία διερεύνει την επίδραση της μουσικής στα δέλτα, θήτα, άλφα και βήτα εγκεφαλικά κύματα χρησιμοποιώντας EEG βρήκε ότι τα κύματα του εγκεφάλου μπορούν να επηρεαστούν από τον τύπο μουσικής που ακούει το άτομο (Chen et al., 2008). Διαπιστώθηκε, λοιπόν, σημαντική μείωση της άλφα δραστηριότητας από τους εθελοντές οι οποίοι άκουσαν πρώτα την κλασική μουσική και στη συνέχεια την μουσική techno, διακόπτοντας έτσι τη χαλαρή τους κατάσταση. Επίσης, παρατηρήθηκε σημαντική μεταβολή της βήτα δραστηριότητας όταν οι εθελοντές βρισκόντουσαν σε ένταση ακούγοντας τη μουσική techno για 3 λεπτά. Κύριο συμπέρασμα της συγκεκριμένης μελέτης υπήρξε ότι η

διακύμανση των εγκεφαλικών κυμάτων μπορεί να παρακολουθείται σε πραγματικό χρόνο από συστήματα παρακολούθησης εγκεφαλικής δραστηριότητας.

Μελέτες που εξετάζουν τη σχέση μεταξύ μουσικής και γνωστικής επίδοσης έχουν δείξει ότι οι αλλαγές στη δραστηριότητα του εγκεφαλικού κύματος συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τη γνωστική επίδοση (Lundqvist et al., 2011). Συγκεκριμένα, η δραστηριότητα των κυμάτων βήτα, μια γρήγορη ταλάντωση, θεωρείται σημαντική για τις διαδικασίες προσοχής (Benchenane et al., 2011) και έχει συνδεθεί με σημαντικό ρόλο στην αντίληψη, τη γνώση, τη συνείδηση και το σχηματισμό ψυχικών αναπαραστάσεων (Medvedev, 2001). Μία μελέτη η οποία αποσκοπούσε στον προσδιορισμό της επίδρασης της μουσικής του Μότσαρτ στην εγκεφαλική δραστηριότητα βρήκε ότι τα άτομα που άκουσαν τον Μότσαρτ είχαν λιγότερη εγκεφαλική δραστηριότητα και σημείωσαν καλύτερες επιδόσεις όταν τους έδωσαν γνωστικές δοκιμασίες (Jaušovec et al., 2006). Αυτό εξηγείται εν μέρει από το γεγονός ότι ο δεξιός μετωπιαίος φλοιός είναι υπεύθυνος για τον σχεδιασμό σύνθετης γνωστικής συμπεριφοράς και βοηθά στη λήψη αποφάσεων. Καθώς ο δεξιός μετωπιαίος φλοιός είναι πιο ενεργός, η δραστηριότητα των κυμάτων βήτα μειώνεται, παρουσιάζοντας μικρότερη εγκεφαλική δραστηριότητα η οποία αντικατοπτρίζεται στην καλύτερη επίδοση σε γνωστικές δοκιμασίες (Howells et al., 2012).

Υπάρχει ένα ερευνητικό κενό όσον αφορά στη διερεύνηση των επιδράσεων του είδους της μουσικής υπόβαθρου στη γνωστική επίδοση, τη δραστηριότητα των εγκεφαλικών κυμάτων και τον καρδιακό ρυθμό κατά την αναγνωστική κατανόηση της επίδρασης της μουσικής. Από όσα γνωρίζουμε, μόνο μία μελέτη EEG εξέτασε αυτόν τον συνδυασμό παραγόντων (Alexander et al., 2012). Σε αυτή τη μελέτη με 19 συμμετέχοντες, κλασικά και dubstep μουσικά κομμάτια χρησιμοποιήθηκαν ως μουσική υπόκρουση. Αν και η επίδοση στην αναγνωστική κατανόηση ήταν σημαντικά καλύτερη με την κλασική μουσική παρά με τη μουσική υπόκρουση dubstep σε επίπεδο συμπεριφοράς, ο τύπος της μουσικής υπόκρουσης δεν είχε καμία επίδραση στη δραστηριότητα του εγκεφάλου ή στις φυσιολογικές αποκρίσεις κατά την αναγνωστική κατανόηση. Πράγματι, ακόμη και κατά τη διάρκεια της αποκωδικοποίησης προσώπου, δεν βρέθηκαν διαφορές στην φλοιώδη δραστηριότητα μεταξύ της μουσικής και των συνθηκών σιωπής (Proverbio & DeBenedetto, 2018). Μέχρι

σήμερα, ωστόσο, λίγα είναι γνωστά για το πώς λειτουργεί ο εγκέφαλος σε άτομα με δυσλεξία όταν οι δοκιμασίες ανάγνωσης συνοδεύονται από μουσική υπόκρουση ή όχι.

2.8 Η χρήση Computer Interface Device στην καταγραφή EEG σημάτων

Το Brain – Computer Interfaces (BCIs) είναι ένα είδος διεπαφής χρήστη που επιτρέπει στους χρήστες να αλληλεπιδρούν με υπολογιστικά συστήματα χωρίς να χρειάζεται καμία κίνηση του σώματος, χρησιμοποιώντας μόνο ηλεκτρικά σήματα που παράγονται στον εγκέφαλο. Αυτή η έλλειψη άμεσης φυσικής επαφής με το σύστημα ανοίγει την ευκαιρία σε ασθενείς με σωματική αναπηρία, π.χ. ασθενείς με ALS (Amyotrophic Lateral Sclerosis) και εγκεφαλική παράλυση, να εκτελούν καθημερινές δραστηριότητες (Wolpaw, Birbaumer, McFarland, Pfurtscheller, & Vaughan, 2002), όπως το περπάτημα (για άτομα με μειωμένα άκρα), πλοήγηση στο Διαδίκτυο, παιχνίδια και επικοινωνία.

Τα BCI είναι εξειδικευμένα συστήματα που διαβάζουν, αναλύουν, ταξινομούν και ερμηνεύουν συγκεκριμένα φυσιολογικά σήματα γνωστά ως εγκεφαλικά κύματα (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012). Η διαφορά μεταξύ ενός συστήματος που διαβάζει μόνο ένα φυσιολογικό σήμα και ένα BCI είναι ότι το τελευταίο επιτρέπει στο χρήστη να αλληλεπιδρά με έναν υπολογιστή ή οποιοδήποτε άλλο μηχάνημα¹ χρησιμοποιώντας αυτό το σήμα, καθώς παρέχει ένα κανάλι επικοινωνίας μεταξύ του εγκεφάλου του χρήστη και μιας συσκευής. προτίθεται να ελέγξει (Fatourech, Bashashati, Ward, & Birch, 2007). Οι παραδοσιακές εφαρμογές για συστήματα BCI επικεντρώνονται κυρίως στη βελτίωση της εμπειρίας αλληλεπίδρασης για άτομα με ειδικές ανάγκες (Sedeeq & Romano, 2014), ωστόσο, άτομα χωρίς αναπηρία είναι επίσης πιθανοί χρήστες λύσεων που προωθούν την αλληλεπίδραση μεταξύ ανθρώπων και υπολογιστών μέσω εγκεφαλικών σημάτων (Ferreira, de Miranda, de Miranda, & Sakamoto, 2013). Τα εγκεφαλικά κύματα είναι το θεμέλιο οποιουδήποτε συστήματος BCI, καθώς κάθε σήμα ελέγχου προέρχεται από αυτά.

Ένα σύστημα BCI μπορεί να ταξινομηθεί σύμφωνα με διάφορους παράγοντες, όπως η φύση της χρησιμοποιούμενης συσκευής (επεμβατική ή μη επεμβατική), η φύση των ερεθισμάτων σήματος (εξωγενής ή ενδογενής), η φύση της μεθόδου επεξεργασίας δεδομένων (σύγχρονη

ή ασύγχρονη) (Nicolas-Alonso & Gomez-Gil, 2012), και πώς εφαρμόζεται το σήμα ελέγχου του (ενεργό, παθητικό ή αντιδραστικό).

Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι για τη μέτρηση σημάτων EEG σε αρκετούς πληθυσμούς μέσω διεπαφής υπολογιστή εγκεφάλου (BCI). Μία τέτοια συσκευή είναι το ελαφρύ ασύρματο σύστημα EEG Emotiv EPOC που έχει λάβει την πιο εμπειρική προσοχή σε ένα φάσμα διαφορετικών πεδίων (Badcock et al., 2013, 2015; de Lissa et al., 2015; Duvinage et al., 2013). Ο Badcock και οι συνεργάτες του (2013, 2015) απέδειξαν ότι το σύστημα Emotiv θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση διακριτών κυμάτων ERP που είναι συγκρίσιμα με αυτά από συστήματα EEG ποιότητας έρευνας.

Όσον αφορά τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ διαφόρων μορφών μαθησιακών δυσκολιών και ανωμαλιών του EEG, υπήρξαν μόνο λίγες έρευνες που χρησιμοποιούν το Emotiv EPOC+, κυρίως αυτή της τουρκικής ερευνητικής ομάδας υπό την επίβλεψη του καθηγητή Eroglu (2018). Σε μια σειρά πειραμάτων, όπου συγκρίθηκε η ανάλυση εντροπίας πολλαπλών κλιμάκων (MSE) μιας ομάδας δυσλεξίας (N = 16) με την ομάδα ελέγχου (N = 20) και έχοντας πραγματοποιήσει συνεδρίες νευροανάδρασης με το Auto Train Brain, διαπίστωσαν ότι η ομάδα δυσλεξίας παρουσίασε σημαντικά χαμηλότερη πολυπλοκότητα στη χαμηλότερη χρονική κλίμακα και στις μεσαίες χρονικές κλίμακες από ό,τι η ομάδα ελέγχου.

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Στοχοθεσία

Σκοπός της παρούσας διατριβής είναι να διερευνήσει νευροφυσιολογικά χαρακτηριστικά και λειτουργίες του εγκεφάλου ενηλίκων ατόμων με αναπτυξιακή δυσλεξία, με την εφαρμογή συνδυασμού μεθόδων τόσο για την καταγραφή της εγκεφαλικής λειτουργίας, όσο και των χαρακτηριστικών της δυσλεξίας, μέσω συγκεκριμένων κριτηρίων και δοκιμασιών. Επίσης, στοχεύει να επεκτείνει το πεδίο μελέτης της σχέσης αυτής, διερευνώντας τον αιτιολογικό ρόλο του νευροβιολογικού υποβάθρου της δυσλεξίας, μέσω νέων, πρωτοποριακών και μη επεμβατικών μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου.

Επιπρόσθετο στόχο αποτελεί η διερεύνηση της εγκεφαλικής λειτουργίας των ατόμων με δυσλεξία κατά την αξιολόγηση δοκιμασιών φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας, σε διάφορες πειραματικές συνθήκες, όπως η ακουστική διάκριση, η οπτική αναγνώριση και η ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος. Δεδομένου ότι η μελέτη σε αυτό το πεδίο έρευνας βρίσκεται ακόμα σε πολύ αρχικό στάδιο και τα αποτελέσματα φαίνεται να είναι αντιφατικά και αντικρουόμενα, θεωρήθηκε σκόπιμο να μελετηθεί η επίδραση μουσικού ερεθίσματος ώστε να αξιολογηθεί ο βαθμός συμβολής της συγκεκριμένης συνθήκης σε δοκιμασία διάκρισης λέξεων βασιζόμενη στη φωνολογική και μορφολογική ενημερότητα.

Αποτελεί γενική παραδοχή (Mather, White & Youman, 2020), πως τα ενήλικα άτομα με δυσλεξία κατέχουν ένα σημαντικό και συνεχώς αυξανόμενο ποσοστό του πληθυσμού και ένα σημαντικό πεδίο στην ειδική αγωγή. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτή η σπουδαιότητα της συγκεκριμένης έρευνας, της οποίας τα αποτελέσματα θα μας οδηγήσουν σε πολύτιμα συμπεράσματα αναφορικά με την εύρεση νέων προσεγγίσεων και μεθόδων οι οποίες θα στοχεύουν στην περαιτέρω βελτίωση των ελλειμμάτων που εμφανίζει ο συγκεκριμένος πληθυσμός σε ένα εύρος μαθησιακών δοκιμασιών.

3.2 Ερευνητικές υποθέσεις- ερωτήματα

Οι κύριες ερευνητικές υποθέσεις οι οποίες έχουν διατυπωθεί προς διερεύνηση είναι οι ακόλουθες:

- Ταξινόμηση των συμμετεχόντων σε φοιτητές με δυσλεξία και χωρίς δυσλεξία με τη χρήση Vector Machine Technique και της ταξινόμησης Τυχαίων Δασών (Random Forests)
- Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των φοιτητών με δυσλεξία και χωρίς δυσλεξία κατά τη συνολική πειραματική διαδικασία και της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών μέσω της καταγραφής EEG σημάτων
- Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των φοιτητών με δυσλεξία και χωρίς δυσλεξία κατά την πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης και της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών μέσω της καταγραφής EEG σημάτων
- Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των φοιτητών με δυσλεξία και χωρίς δυσλεξία κατά την πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης και της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών μέσω της καταγραφής EEG σημάτων
- Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ των φοιτητών με δυσλεξία και χωρίς δυσλεξία κατά την πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης με την ταυτόχρονη παρουσία μουσικής υπόκρουσης και της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών μέσω της καταγραφής EEG σημάτων
- Διερεύνηση της συσχέτισης μεταξύ της επίδοσης των φοιτητών με δυσλεξία σε δοκιμασίες φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας στις πειραματικές συνθήκες και της ενεργοποίησης εγκεφαλικών περιοχών μέσω της καταγραφής EEG σημάτων

3.3 Ερευνητικός Σχεδιασμός

Η απόφαση για την επιλογή της κατάλληλης ερευνητικής στρατηγικής αποτελεί πάντα κρίσιμο στάδιο ενός ερευνητικού έργου. Σύμφωνα με τους Robson και McCartan (2016), οι

κύριες ερευνητικές στρατηγικές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από έναν ερευνητή είναι η μελέτη περίπτωσης, η έρευνα μέσω ερωτηματολογίων και η πειραματική στρατηγική. Επίσης, επισημαίνει ότι η επιλογή της κατάλληλης ερευνητικής στρατηγικής πρέπει πάντα να σχετίζεται με τα ερευνητικά ερωτήματα ή τους στόχους της μελέτης.

Μια μελέτη περίπτωσης περιλαμβάνει τη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με μια μεμονωμένη ενότητα - ένα παιδί, μια τάξη ή μια κοινότητα. Ο σκοπός μιας τέτοιας παρατήρησης είναι να «διερευνήσει βαθιά και να αναλύσει εντατικά τα πολυμορφικά φαινόμενα που αποτελούν τον κύκλο ζωής της μονάδας» (Cohen, Manion & Morrison, 2011). Συνήθως, το άτομο ή η ομάδα που είναι το επίκεντρο αυτού του συγκεκριμένου ερευνητικού ενδιαφέροντος μπορεί να έχει μια σπάνια ιατρική κατάσταση με ψυχολογικές επιπτώσεις ή μπορεί να βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κοινωνική θέση - παιδί που ζει με έναν μόνο γονέα, ψυχιατρικό ασθενή, εγκληματία. Επικεντρώνεται συχνά σε περιπτώσεις που είναι τόσο δραματικές που δεν θα μπορούσαν να είχαν προβλεφθεί ή μελετηθεί με οποιονδήποτε προγραμματισμένο τρόπο. Η μοναδική δύναμη της μελέτης περίπτωσης είναι ο πλούτος πληροφοριών που παρέχονται μέσω της λεπτομερούς ανάλυσης κάθε περίπτωσης. Ωστόσο, η πιο αδύναμη πτυχή της μελέτης περίπτωσης είναι ότι δεν προσδίδει δυνατότητα γενίκευσης. Οι κύριες κριτικές αυτής της ερευνητικής στρατηγικής επικεντρώνονται στον υψηλό βαθμό αναξιοπιστίας της (Coolican, 2014). Επομένως, οι στόχοι του παρόντος ερευνητικού έργου δεν θα μπορούσαν να επιτευχθούν επαρκώς με μια προσέγγιση μελέτης περίπτωσης.

Η έρευνα μέσω ερωτηματολογίων είναι ίσως η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη περιγραφική μέθοδος στην εκπαιδευτική έρευνα. Όπως επισημαίνουν οι Cohen, Manion και Morrison, (2011), «οι έρευνες συλλέγουν δεδομένα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με την πρόθεση να περιγράψουν τη φύση των υπαρχόντων συνθηκών ή να προσδιορίσουν πρότυπα βάσει των οποίων μπορούν να συγκριθούν οι υπάρχουσες συνθήκες ή να προσδιοριστούν οι σχέσεις που υπάρχουν μεταξύ συγκεκριμένων γεγονότων». Υπάρχουν διάφορες τεχνικές για τη συλλογή δεδομένων, όπως: δομημένες ή ημι-δομημένες συνεντεύξεις, αυτο-συμπλήρωση ή ταχυδρομικά ερωτηματολόγια και τυποποιημένες δοκιμές.

Μια τρίτη διαθέσιμη μεθοδολογική επιλογή αποτελεί η πειραματική στρατηγική. Οι Robson και McCartan (2016) υποδεικνύει ότι «το κεντρικό χαρακτηριστικό αυτής της στρατηγικής

είναι ότι ο ερευνητής εισάγει ενεργά και σκόπιμα κάποια μορφή αλλαγής στην κατάσταση, τις περιστάσεις ή την εμπειρία των συμμετεχόντων με σκοπό να προκαλέσει μια απρόθυμη αλλαγή στη συμπεριφορά τους». Η πλειοψηφία των εμπειρικών μελετών σε εκπαιδευτικά περιβάλλοντα περιλαμβάνει τα λεγόμενα πειραματικά σχέδια που διαφέρουν από τα πραγματικά πειράματα στο ότι ο ερευνητής αναλαμβάνει τη μελέτη του με ομάδες που έχουν συγκροτηθεί με άλλα μέσα, εκτός της τυχαίας επιλογής. Οι Kerlinger και Lee (2000) αναφέρονται σε οιονεί πειραματικές καταστάσεις ως «συμβιβαστικά σχέδια», μια κατάλληλη περιγραφή όταν εφαρμόζεται σε εκπαιδευτική έρευνα όπου η τυχαία επιλογή είναι αρκετά ανέφικτη. Μια άλλη ανησυχία κατά την υιοθέτηση μιας πειραματικής προσέγγισης έγκειται στις «απειλές» ως προς την εσωτερική και εξωτερική εγκυρότητα και με το βαθμό στον οποίο συγκεκριμένες απειλές μπορούν να εξαιρεθούν εύλογα σε συγκεκριμένες μελέτες (Cook & Campbell, 1979). Οι Cohen, Manion και Morrison (2011) παρέχουν μια πολύ λεπτομερή περίληψη σχολιάζοντας αυτές τις απειλές. Παρόλο που σε αυτά τα σχέδια ο πειραματιστής δεν έχει πάντα τον πλήρη έλεγχο της ανεξάρτητης μεταβλητής, στην παρούσα έρευνα ο ερευνητής χρησιμοποίησε έναν συγκριτικό πειραματικό ισοδύναμο σχεδιασμό ομάδων.

3.4 Δειγματοληψία

Ο πληθυσμός της τρέχουσας έρευνας περιλάμβανε Έλληνες προπτυχιακούς φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης. Το Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων επελέγη καθώς, αφενός, περιλαμβάνει μεγάλο εύρος επιστημονικών κλάδων κοινωνικών και θετικών επιστημών, και αφετέρου, οι εγγεγραμμένοι φοιτητές προέρχονται από ποικίλα μέρη της Ελλάδας που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα της χώρας. Επιπλέον, το γεγονός ότι ο ερευνητής ολοκλήρωσε τις προπτυχιακές του σπουδές σε αυτό το Πανεπιστήμιο καθώς και η πολυετής εργασιακή σχέση με τον συγκεκριμένο ακαδημαϊκό χώρο, έπαιξε επίσης καθοριστικό ρόλο σε αυτήν την επιλογή, όσον αφορά την εξοικείωση με τους καθηγητές και την απρόσκοπτη πρόσβαση στους φοιτητές.

Η στρατηγική δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη είναι η στρωματοποιημένη τυχαία δειγματοληψία. Σύμφωνα με τους Cohen, Manion και Morrison

(2011), η συγκεκριμένη στρατηγική περιλαμβάνει τη διαίρεση του πληθυσμού σε δύο ομάδες με την κάθε μία να περιλαμβάνει άτομα με κοινά χαρακτηριστικά ώστε να εξασφαλίζεται η ομοιογένεια του δείγματος: την ερευνητική ομάδα με φοιτητές με διαγνωσμένη δυσλεξία και την ομάδα ελέγχου με φοιτητές τυπικής ανάπτυξης. Κύριο κριτήριο για τη διαίρεση του δείγματος ήταν η επίσημη διάγνωση (από δημόσιο φορέα διάγνωσης, βλ. ΚΕ.Σ.Υ.) των συμμετεχόντων με δυσλεξία. Έτσι, δόθηκε η δυνατότητα δημιουργίας ενός χρήσιμου μείγματος τυχαιοποίησης αλλά και κατηγοριοποίησης επιτρέποντας στον ερευνητή να εργαστεί τόσο σε επίπεδο ποσοτικής όσο και ποιοτικής έρευνας (Cohen, Manion & Morrison, 2011). Ταυτόχρονα, δόθηκε η δυνατότητα μελέτης των διαφορών που τυχόν υπάρχουν μεταξύ των δύο ομάδων, ενώ ο τρόπος αυτός της δειγματοληψίας εγγυάται την εκπροσώπηση των ομάδων της έρευνας στον συνολικό πληθυσμό των φοιτητών (Herren et al., 2020).

Σε αυτήν την πειραματική διαδικασία συμμετείχαν 26 δεξιόχειρες φοιτητές που σπουδάζουν στο Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων στη Σχολή Επιστημών Υγείας, και πιο συγκεκριμένα στα Τμήματα Ιατρικής και Λογοθεραπείας. Οι φοιτητές ενημερώθηκαν για την παρούσα έρευνα πρωτίστως μέσω των γραμματειών των Τμημάτων του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων και δευτερευόντως μέσω ενημερωτικών φυλλαδίων που είχαν αναρτηθεί σε σημεία κεντρικού ενδιαφέροντος των φοιτητών, και προσκλήθηκαν να συμμετάσχουν εθελοντικά σε αυτήν την έρευνα.

Ο πληθυσμός – στόχος της παρούσας έρευνας αφορά σε άτομα τα οποία έχουν επισήμως διαγνωστεί με δυσλεξία. Το δείγμα περιλάμβανε δύο κύριες ομάδες, δηλαδή, την πειραματική ομάδα που αποτελείτο από 12 φοιτητές (6 γυναίκες και 6 άντρες) οι οποίοι είχαν επισήμως διαγνωστεί με δυσλεξία (1^η ομάδα), και την ομάδα ελέγχου η οποία αποτελείτο από 14 φοιτητές (10 γυναίκες και 4 άντρες) τυπικής ανάπτυξης (2^η ομάδα). Και οι 12 φοιτητές με δυσλεξία είχαν δεχτεί παρέμβαση σε νεαρή ηλικία και δεν αναφέρθηκε συννοσηρότητα που να σχετίζεται με τη δυσλεξία. Οι συμμετέχοντες μεταξύ των ομάδων είχαν περίπου την ίδια ηλικία και ο μέσος όρος ηλικίας για την ομάδα δυσλεξίας ήταν 21.58 ετών και για την ομάδα ελέγχου 20.93 ετών. Το εκπαιδευτικό επίπεδο για κάθε συμμετέχοντα ήταν το ίδιο, αφού όλοι οι συμμετέχοντες ήταν φοιτητές πανεπιστημίου.

Ο κάθε συμμετέχων συμπλήρωσε ένα ειδικό έντυπο συγκατάθεσης (Παράρτημα ??) το οποίο τον ενημέρωνε μεταξύ άλλων για τον σκοπό της πειραματικής διαδικασίας, τη δυνατότητα να αποχωρήσει σε περίπτωση δυσφορίας, τη διασφάλιση της ανωνυμίας καθώς και την εμπιστευτικότητα των πληροφοριών και δεδομένων που αποκτήθηκαν κατά την πειραματική διαδικασία (Απόφαση Συνέλευσης Τμήματος Ιατρικής, Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων, 1358/04-11-2016).

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε λήψη ιστορικού από όλους τους συμμετέχοντες όπου κατεγράφησαν γενικές πληροφορίες όπως το μορφωτικό επίπεδο, η επαγγελματική κατάσταση καθώς και η μητρική τους γλώσσα, αλλά και ειδικότερες πληροφορίες σχετικά με το εκπαιδευτικό ιστορικό τους, δηλαδή εάν παρακολούθησε τμήμα ένταξης ή εάν δέχτηκε λογοθεραπευτική παρέμβαση. Επίσης, δόθηκαν πληροφορίες για τυχόν προβλήματα συμπεριφοράς κατά τη σχολική ηλικία μέσα από ένα σύντομο ψυχοκοινωνικό ιστορικό. Μετά το πέρας της διαδικασίας ο κάθε συμμετέχων έλαβε βεβαίωση συμμετοχής.

Η πειραματική διαδικασία εντάχθηκε στο πλαίσιο Κλινικής Άσκησης Λογοθεραπείας, η οποία παρακολουθήθηκε σε εβδομαδιαία βάση από φοιτητές του Ε' εξαμήνου των φοιτητών του τμήματος Λογοθεραπείας σε ειδικά διαμορφωμένο εργαστηριακό χώρο.

3.5 Λογισμικό

Για τους σκοπούς της έρευνας δημιουργήθηκε λογισμικό, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την ηλεκτρονική παρουσίαση των οπτικών και ακουστικών ερεθισμάτων στα πλαίσια της φωνολογικής δοκιμασίας. Το λογισμικό λειτουργεί σε περιβάλλον Android με τη μορφή εφαρμογής και δημιουργήθηκε από σύμβουλο πληροφορικής με χρήση του εργαλείου Android Studio. Το συγκεκριμένο λογισμικό με την επωνυμία "Dyslexia" μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφαρμογή σε έξυπνες Android συσκευές αλλά και σε υπολογιστές με λειτουργικό Windows μετά την εγκατάσταση της πλατφόρμας Bluestacks. Το Bluestacks είναι ένα εργαλείο που προσομοιώνει το περιβάλλον Android και επιτρέπει την εγκατάσταση εφαρμογών τοπικά στον υπολογιστή.

3.6 Πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας

Στην πρώτη πειραματική συνθήκη κατά την οποία αξιολογήθηκε η ακουστική διάκριση, ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να διακρίνουν ακουστικά, λέξεις που εμπεριείχαν φωνήματα με κοινά φωνολογικά χαρακτηριστικά (π.χ. fo'vame, fo'dame, fo'θame). Οι συμμετέχοντες έβλεπαν στην οθόνη 3 λέξεις στη σειρά, καθεμία από τις οποίες ήταν μέσα σε ένα πλαίσιο με αντίστοιχο αριθμό, με αίτημα να επιλέξουν τον αριθμό που αντιστοιχούσε στη λέξη που θεωρούσαν ότι είναι ακουστικά σωστή. Η λεκτική οδηγία που δινόταν ήταν η ακόλουθη: «διάλεξε τη σωστή λέξη που ακούς».

Στη δεύτερη πειραματική συνθήκη η οποία αξιολογούσε την οπτική αναγνώριση, τα άτομα έβλεπαν στην οθόνη 3 λέξεις στη σειρά, καθεμία από τις οποίες ήταν μέσα σε ένα πλαίσιο με αντίστοιχο αριθμό, με αίτημα να τις διαβάσουν σιωπηλά όσο το δυνατόν πιο προσεκτικά και να επιλέξουν αυτή που έκριναν ότι ήταν ορθογραφικά σωστή. Η οδηγία που εμφανιζόταν στην οθόνη ήταν η ακόλουθη: «διάλεξε τη σωστή λέξη που βλέπεις».

Τέλος, η τρίτη πειραματική συνθήκη ήταν ίδια με τη δεύτερη, με τη διαφορά όμως ότι περιλάμβανε την ταυτόχρονη παρουσία μουσικής υπόκρουσης. Το μουσικό απόσπασμα που επιλέχθηκε για το πείραμα ήταν το Sonata for Two Pianos στο D major, K. 448, έργο του Μότσαρτ (1781), καθώς ερευνητικές μελέτες έχουν διαπιστώσει σημαντική συσχέτιση του συγκεκριμένου μουσικού ερεθίσματος στην προσοχή (Rauscher, Shaw, & Ky, 1993; Hallam, Prince, & Katsarou, 2002; Ferencsik et al., 2017). Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν από τη χορήγηση του προς αξιολόγηση υλικού, παρέχονταν 3 παραδείγματα τριάδων λέξεων σε κάθε πειραματική συνθήκη. Ο χρόνος που δινόταν στην κάθε ερώτηση μπορούσε να ρυθμιστεί στην αρχή της πειραματικής συνθήκης ανάλογα με τον βαθμό δυσκολίας που αντιμετώπιζαν οι συμμετέχοντες κατά τη χορήγηση των παραδειγμάτων. Αυτός ο χρόνος κυμαινόταν από 6 μέχρι 10 δευτερόλεπτα, με μέσο χρόνο απόκρισης τα 8,5 δευτερόλεπτα. Οι ερωτήσεις παρουσιάζονταν με προκαθορισμένη σειρά, αλλά η θέση της της κάθε λέξης που δινόταν στην τριάδα των λέξεων, ακολουθούσε τυχαιοποιημένη σειρά ώστε να μην εμφανίζεται κάθε φορά η πρώτη λέξη ως η σωστή λέξη.

3.7 Φωνολογικά Κριτήρια

Το υλικό που περιλαμβάνεται στο λογισμικό αποτελείται από 60 τριάδες λέξεων, οι οποίες έχουν επιλεγεί πληρώντας αυστηρά φωνολογικά, μορφολογικά και σημασιολογικά κριτήρια λαμβάνοντας υπόψιν τις δυσκολίες που υποπίπτουν τα άτομα με δυσλεξία, όπως αυτές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Asvestoroulou et al., 2019). Η επιλογή του κατάλληλου μουσικού ερεθίσματος που συνοδεύει ως «μουσικό χαλί» την εκφώνηση του γλωσσικού υλικού έγινε μετά από ευρήματα αντίστοιχων ερευνών (Rauscher, Shaw & Ky, 1993; Wenhui, Tingting & Liyan, 2017), αλλά και με τη συνδρομή ακαδημαϊκών οι οποίοι δραστηριοποιούνται στον χώρο της μουσικής εκπαίδευσης. Η εκφώνηση του ακουστικού υλικού έγινε σε επαγγελματικό στούντιο ηχογράφησης από επαγγελματία του αντίστοιχου χώρου για την καλύτερη και ποιοτικότερη παραγωγή του υλικού.

Το υλικό που παρουσιάστηκε στις τρεις συνθήκες ακολούθησε αρκετά προκαθορισμένα φωνολογικά, μορφολογικά και σημασιολογικά κριτήρια βασισμένα σε κοινά λάθη στην ελληνική γλώσσα από άτομα με δυσλεξία, ειδικά εστιάζοντας στη σύγχυση γραμμάτων με οπτική (κ, γ, χ) ή ακουστική ομοιότητα (f, v, θ, δ) (Καλαντζή-Αζίζι & Ζαφειροπούλου, 2004). Επίσης, στο υλικό των λέξεων που αξιολογήθηκε σε αυτήν την πειραματική διαδικασία, τα φωνήματα-στόχοι βρίσκονταν σε αρχική, μεσαία και τελική θέση. Η πρώτη κατηγοριοποίηση των φωνολογικών κριτηρίων αφορούσε στον χωρισμό των λαθών σε δομικά και ορθογραφικά λάθη. Πιο συγκεκριμένα, τα δομικά λάθη που εξετάστηκαν στο πλαίσιο αυτής της έρευνας αφορούσαν σε απλοποιήσεις φωνημάτων (**β, φ, δ, θ**), στα οποία τα άτομα με δυσλεξία εμφανίζουν μεγαλύτερη συχνότητα λάθους όπως:

Με φώνημα-στόχο **β**

- αντικατάσταση φωνημάτων (ηχηροποίηση – αηχοποίηση): π.χ. **β**υθός, φυθός, δυθός
- μετάθεση/μετατόπιση φωνημάτων: π.χ. αμφι**β**ολία, αμβιφολία, αμφιλοβία
- παράλειψη φωνημάτων: π.χ. **βα**λβίδα, βαλίδα, αλβίδα

Με φώνημα-στόχο **φ**

- αντικατάσταση φωνημάτων (ηχηροποίηση – αηχοποίηση): π.χ. **φ**ρυγανιά, θρυγανιά, δρυγανιά
- μετάθεση φωνημάτων/μετατόπιση: π.χ. αμ**φ**ιθέατρο, α**φ**μιθέατρο, α**μ**θιφέατρο
- παράλειψη φωνημάτων: π.χ. **φ**α**φ**λατάς, α**φ**λατάς, φαλατάς

Με φώνημα-στόχο **δ**

- αντικατάσταση φωνημάτων (ηχηροποίηση – αηχοποίηση): π.χ. κλει**δ**ί, κλειβί, κλειθί
- μετάθεση/μετατόπιση φωνημάτων: π.χ. έ**δ**ομος, έδβομος, έβμοδος
- παράλειψη φωνημάτων: π.χ. **δ**εν**δ**ρύλλιο, δενρύλλιο, ενδρύλλιο

Με φώνημα-στόχο **θ**

- αντικατάσταση φωνημάτων (ηχηροποίηση – αηχοποίηση): π.χ. **θ**ρόμβωση, δρόμβωση, βρόμβωση
- μετάθεση/μετατόπιση φωνημάτων: π.χ. **θ**λιβερός, λθιβερός, βλιθερός
- παράλειψη φωνημάτων: π.χ. βα**θ**μο**θ**ηρία, βαμοθηρία, βαθμοηρία

Ή συνδυασμός αυτών των απλοποιήσεων:

- βιβλιοδεσία, βιλιοθεσία, βιλβιοδεσία
- ορθογραφία, ορφογραθία, οθρογραφία
- δελφίνι, φελδίνι, δεφλίνι
- επιμόρφωση, επιμόφρωση, επιμόρβωση

Η δεύτερη κατηγορία λέξεων αφορούσε στην ιστορική (γραμματική) ορθογραφία, δηλαδή το φαινόμενο κατά το οποίο η ορθογραφία μιας γλώσσας αντικατοπτρίζει μια παλαιότερη γλωσσική κατάσταση και όχι τη σύγχρονη. Αυτή η κατηγορία λαθών δόθηκε μόνο στη 2^η και 3^η πειραματική συνθήκη δεδομένου ότι στην ακουστική διάκριση δεν μπορεί να ζητείται ορθογραφική αναγνώριση. Παρακάτω, δίνονται μερικά παραδείγματα ορθογραφικών λαθών τα οποία αφορούσαν είτε στο θέμα της λέξης είτε στην κατάληξή της:

Σε ρήματα

- στο θέμα: π.χ. βυθομετρώ, βιθομετρώ, βειθομετρώ
- στην κατάληξη: π.χ. δακρύζω, δακρίζω, δακρείζω

Σε επίθετα

- στο θέμα: π.χ. η ανύπαρκτη, η ανήπαρκτη, η ανείπαρκτη
- στην κατάληξη: π.χ. ο ευθύς, ο ευθής, ο ευθείς

Σε ουσιαστικά

- στο θέμα: π.χ. η ο πρωθυπουργός, ο πρωθυπουργός, ο προθυπουργός
- στην κατάληξη: π.χ. οι μανάβηδες, οι μανάβειδες, οι μανάβιδες

Επίσης, επιπλέον κριτήριο που ελήφθη υπόψιν όσον αφορά τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των λέξεων που χορηγήθηκαν αποτέλεσε η φωνοτακτική δομή των λέξεων. Αυτή ορίζεται ως ο συνδυασμός των φωνημάτων μιας γλώσσας μεταξύ τους και οι βασικές συλλαβικές δομές της κάθε γλώσσας. Η πιο πρώιμη εξελικτικά και πιο κοινή συλλαβική δομή διεθνώς είναι η συλλαβή CV ή ΣΦ (σύμφωνο – φωνήεν). Αναλυτικότερα, παρακάτω δίνονται παραδείγματα λέξεων που ακολουθούν διάφορες μορφές φωνοτακτικής δομής όπως:

Απλή φωνοτακτική δομή

- ΣΦΣΦΣ (Κλειστή συλλαβή): βυθός
- ΣΦΣΦΣΦ (Ανοιχτή συλλαβή): δώδεκα
- ΣΦΣΦΣΦΣ (Κλειστή συλλαβή): θόρυβος

Σύνθετη φωνοτακτική δομή (Συμφωνικά συμπλέγματα)

- ΣΣΦΣΦ (Ανοιχτή συλλαβή): κλειδί
- ΣΦΣΣΦΣΦ (Ανοιχτή συλλαβή): δελφίνι
- ΦΣΦΣΦΣΣΦ (Ανοιχτή συλλαβή): αμόλυβδη
- ΦΣΣΦΣΣΦΣ (Κλειστή συλλαβή): οφθαλμός

Σύνθετη φωνοτακτική δομή (Φωνηεντική ακολουθία)

- ΣΦΣΦΦ (Ανοιχτή συλλαβή): λοφίο
- ΦΣΦΣΦΦ (Ανοιχτή συλλαβή): ωφέλεια
- ΣΦΦΣΦΦ (Ανοιχτή συλλαβή): μυωπία

Μεικτή φωνοτακτική δομή (Συμφωνικό σύμπλεγμα & Φωνηεντική ακολουθία)

- ΣΣΦΣΦΦ (Ανοιχτή συλλαβή): βραβείο
- ΦΣΣΣΦΦΣ (Κλειστή συλλαβή): ανδρείος
- ΣΦΣΣΦΦΣΦΣΦ (Ανοιχτή συλλαβή): βιβλιοθήκη

Στην επιλογή του γλωσσικού υλικού δόθηκε βαρύτητα στην παρουσία του φωνήματος – στόχου σε αρχική, μεσαία, τελική θέση ή και διπλή παρουσία στη λέξη, όπως για παράδειγμα:

Αρχική, μεσαία, τελική θέση (β)

- βυθίζω, φοβάμαι, θόρυβος

Διπλή παρουσία (β)

- βιβλιάριο

Αρχική, μεσαία, τελική θέση (φ)

- φρυγανιά, αμφιθέατρο, ξάδερφος

Διπλή παρουσία (φ)

- φαφλατάς

Αρχική, μεσαία, τελική θέση (δ)

- δρεπάνι, βραδινός, βαλβίδα

Διπλή παρουσία (δ)

- διδασκαλία

Αρχική, μεσαία, τελική θέση (θ)

- θλιβερός, πρωθυπουργός, συνήθης

Διπλή παρουσία (θ)

- θεσμοθετώ

Τέλος, οι 2 ψευδολέξεις που υπήρχαν σε κάθε τριάδα λέξεων σε όλες τις πειραματικές συνθήκες, περιείχαν λάθη σχετικά με τη θέση και τη σειρά των γραμμάτων ή/και την αλλαγή γραφημάτων, όπως στη διαδοχή (πυμθένας-πυθμένες), προσθήκη (αφθύπνιση-αφύπνιση), παράλειψη (βαλίδα-βαλβίδα) ή σφάλματα αντικατάστασης (αντίβραση-αντίδραση) ή και συνδυασμό φωνολογικών απλοποιήσεων όπως παράλειψη και αντικατάσταση (ακτυλίβι-δακτυλίδι), αντικατάσταση και διαδοχή (φοβμαρδίζω-βομβαρδίζω), προσθήκη και αντικατάσταση (βρυδίζω-βυθίζω) διαδοχή και παράλειψη (ρβάευση-βράβευση).

3.8 Καταγραφή Δεδομένων

Οι EEG καταγραφές πραγματοποιήθηκαν σε ειδικό εργαστηριακό χώρο του Τμήματος Λογοθεραπείας του Παν/μίου Ιωαννίνων με ικανοποιητική ηχομόνωση ώστε να αποκλειστούν τυχόν εξωτερικοί διασπαστικοί παράγοντες. Κατά τη διάρκεια της αξιολόγησης και της καταγραφής EEG, οι συμμετέχοντες ήταν σε καθιστή θέση, σε κατάσταση ηρεμίας με τα μάτια ανοιχτά κοιτώντας μία οθόνη υπολογιστή 25" έχοντας τη δυνατότητα να επιλέγουν την απάντησή τους είτε με τη χρήση ποντικιού είτε ακουμπώντας στην οθόνη αφής τη λέξη που θεωρούσαν σωστή. Επίσης, οι συμμετέχοντες μπορούσαν να αλλάξουν την αρχική απάντησή τους, εφόσον αυτό γινόταν μέσα στον καθορισμένο χρόνο, και σύμφωνα με τον προγραμματισμό, το λογισμικό κατέγραφε και αποθήκευε την τελευταία απάντηση του συμμετέχοντα.

Η διάρκεια κάθε καταγραφής EEG κυμαινόταν μεταξύ 21 και 38 λεπτών (28 λεπτά κατά μέσο όρο), ανάλογα με τον χρόνο που απαιτείτο για κάθε υποκείμενο ώστε να ολοκληρώσει τη

διαδικασία. Η καταγραφή μπορούσε να τερματιστεί σε περίπτωση που ο συμμετέχων αισθανόταν δυσφορία (όπως αρχικά είχε συμφωνηθεί στο έντυπο συγκατάθεσης), αν και τελικά κανένας συμμετέχων δε ζήτησε να διακοπεί η πειραματική διαδικασία. Συνολικά, συλλέχθηκαν 5 ώρες και 51 λεπτά καταγραφών EEG από άτομα με δυσλεξία και 5 ώρες και 47 λεπτά από άτομα χωρίς δυσλεξία, σχηματίζοντας μια βάση δεδομένων περίπου 11,5 ωρών.

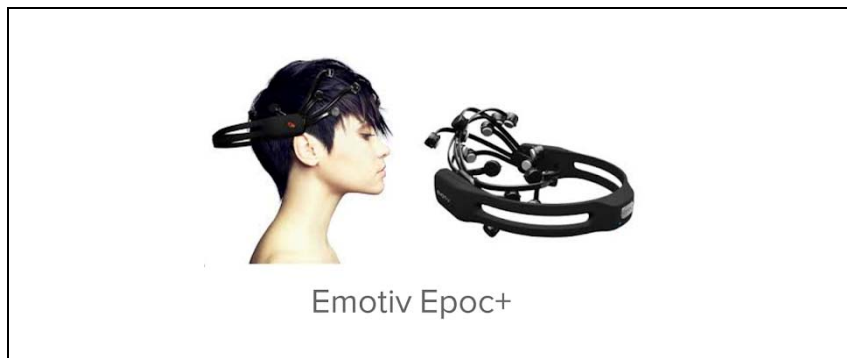
Για την διεξαγωγή πειραμάτων σχετικά με την δυσλεξία, τα οποία και αποτελούν το αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας, το Emotiv EPOC + θεωρείται ως μια αρκετά καλή επιλογή για τους εξής λόγους:

- Έχει χαμηλό κόστος
- πρόκειται για μια ασύρματη συσκευή εγκεφαλογραφίας, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για πειράματα σχετικά με την δυσλεξία, αφού η πλειοψηφία των συμμετεχόντων είναι παιδιά
- η χρήση του ενδείκνυται για μετρήσεις βιοσημάτων και για τον εντοπισμό του χαρακτηριστικού P300, άρα και ενδεχομένως, άλλων προκλητών δυναμικών των οποίων η ύπαρξη τους μπορεί να σχετίζεται με την δυσλεξία
- τέλος, παρέχει στον ερευνητή τα μη επεξεργασμένα δεδομένα ελεύθερα για offline ανάλυση με λογισμικό είτε του ίδιου του ερευνητή είτε με χρήση εργαλειοθηκών της MATLAB εξειδικευμένων για τη μελέτη των νευροφυσιολογικών δεδομένων.

Το Emotiv EPOC + (Εικόνα 3), μια εμπορική ασύρματη φορητή συσκευή EEG, είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες αισθητηριακές συσκευές EEG, αποτελούμενη από 14 αισθητήρες οι οποίοι τοποθετήθηκαν από ειδικά καταρτισμένο προσωπικό στο τριχωτό της κεφαλής σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (AF3, F3, F7, FC5, T7, P7, O1, AF4, F4, F8, FC6, T8, P8 και O2). Δύο επιπλέον ηλεκτρόδια από καουτσούκ τοποθετήθηκαν στα μαστοειδή, χρησιμεύοντας ως κανάλια αναφοράς. Οι αριθμοί που ακολουθούν τα γράμματα περιοχής των ηλεκτροδίων αντικατοπτρίζουν είτε το αριστερό (μονός αριθμός) είτε το δεξιό (ζυγός αριθμός) ημισφαίριο τοποθέτησης ηλεκτροδίων. Η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 128 Hz και η σύνδεση μεταξύ των ηλεκτροδίων και του τριχωτού της κεφαλής πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας αλατούχο υγρό διάλυμα, που εφαρμόζεται σε όλα τα

πιλήματα κάθε αισθητήρα. Η συσκευή ρυθμίστηκε σύμφωνα με τις οδηγίες που παρέχονται από το λογισμικό EmotivPRO και η ποιότητα της συνδεσιμότητας ελεγχόταν τακτικά τόσο στην αρχή όσο και κατά τη διάρκεια της καταγραφής.

Εικόνα 3. Ασύρματη φορητή συσκευή 14-ηλεκτροδίων Emotiv EPOC+



3.9 Επεξεργασία EEG σημάτων

Οι καταγραφές πραγματοποιήθηκαν με το μοντάζ, σύμφωνα με τα συνδεδεμένα μαστοειδή. Μετά από κάθε καταγραφή, τα σήματα EEG εξάγονται σε μορφή ".edf" και υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας την πλατφόρμα Matlab και την εργαλειοθήκη EEGLAB. Εφαρμόζεται φίλτρο εγκοπής Butterworth για την αφαίρεση των ταλαντώσεων θορύβου γραμμής ισχύος 50 Hz από τα σήματα EEG και ένα ψηφιακό φίλτρο υψηλής διέλευσης FIR στα 0,5 Hz για την αφαίρεση των ταλαντώσεων χαμηλής συχνότητας. Στη συνέχεια, επτά φίλτρα FIR παρόμοιας σχεδίασης έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν συχνότητες εντός ενός συγκεκριμένου εύρους και εξασθενούν συχνότητες εκτός αυτής της περιοχής. Τα επτά φίλτρα διέλευσης ζώνης (0,5 - 4 Hz, 4 - 8 Hz, 8 - 10 Hz, 10 - 12Hz και 13 - 19Hz, 20 - 30Hz και 30-60 Hz) έχουν σχεδιαστεί σε σχέση με τους 7 ρυθμούς EEG, προσπαθώντας να εξάγουν φασματικά χαρακτηριστικά σε κάθε υπο-ζώνη συχνοτήτων προς διερεύνηση. Στη συνέχεια, κάθε φιλτραρισμένη καταγραφή EEG χωρίζεται σε μη επικαλυπτόμενες εποχές των 10 δευτερολέπτων και τα φασματικά χαρακτηριστικά εξάγονται από τα τμήματα EEG των 10-s. Ο πίνακας 1 παρουσιάζει τις υποζώνες που ενδιαφέρουν τους αντίστοιχους ρυθμούς EEG.

Υποζώνες ενδιαφέροντος	EEG ρυθμοί	Αιτία
0.5 – 4 Hz	δ	Βαθύς ύπνος
4 – 8 Hz	θ	Υπνηλία και σκέψη
8 – 10 Hz	low α ($\alpha 1$)	Χαλάρωση, κλειστά μάτια
10 – 12 Hz	high α ($\alpha 2$)	
13 – 19 Hz	low β ($\beta 1$)	Συγκέντρωση και σκέψη (άγχος)
20 – 30 Hz	high β ($\beta 2$)	
30 – 60 Hz	γ	Ανώτερες γνωστικές λειτουργίες

Το διάνυσμα χαρακτηριστικών που υπολογίζεται από κάθε ηλεκτρόδιο και από κάθε εγκεφαλική περιοχή ενδιαφέροντος, περιλαμβάνει τόσο χαρακτηριστικά που εξάγονται στο πεδίο του χρόνου όσο και χαρακτηριστικά στο πεδίο της συχνότητας. Πιο αναλυτικά, επιλέγονται 7 συχνοτικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται για κάθε βασικό ρυθμό του ΗΕΓ (δ , θ , $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$, και γ) και 2 συχνοτικά χαρακτηριστικά που υπολογίζονται για όλο το φάσμα συχνοτήτων, όπως αυτό προκύπτει μετά την εφαρμογή του ζωνοπερατού φίλτρου στη ζώνη συχνοτήτων 0.5 – 60 Hz. Στη συνέχεια, τα συχνοτικά χαρακτηριστικά εξάγονται σε κάθε ζώνη και υπολογίζεται η κανονικοποιημένη τιμή (που κυμαίνεται από 0 έως 1) για κάθε χαρακτηριστικό, ώστε να είναι αποτελεσματικότερη η σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ομάδων. Η κανονικοποιημένη τιμή του κάθε χαρακτηριστικού υπολογίζεται διαιρώντας την τιμή του χαρακτηριστικού της κάθε ζώνης, με τη συνολική τιμή του χαρακτηριστικού, δηλαδή το άθροισμα των χαρακτηριστικών που υπολογίζονται στις επιμέρους ζώνες συχνοτήτων. Συγκεκριμένα υπολογίστηκε:

$$\text{Ενέργεια: } Energy = \sum_{j=1}^N x_j^2, \quad i = \delta, \theta, \alpha 1, \alpha 2, \beta 1, \beta 2, \gamma$$

που είναι η τετραγωνική τιμή ενός τμήματος EEG δεδομένων x_j που υπολογίζεται για κάθε ζώνη i .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Στατιστική Ανάλυση

Ο σκοπός της παρούσας μελέτης επικεντρώθηκε στη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των εγκεφαλικών ρυθμών σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου σε ενήλικες με δυσλεξία και της ομάδας ελέγχου σε τρεις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες (ακουστική διάκριση, οπτική αναγνώριση, οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε έλεγχος ταξινόμησης των συμμετεχόντων με τη χρήση ταξινομητή προκειμένου να διερευνηθεί ο ακριβής προσδιορισμός των χαρακτηριστικών σε ενήλικες με δυσλεξία σε συγκεκριμένες συνθήκες αξιολόγησης. Επιπλέον, η μελέτη στοχεύει στην περαιτέρω ανάλυση των ερευνητικών δεδομένων αναφορικά με τη συσχέτιση των δύο ομάδων συμμετεχόντων ως προς τις απαντήσεις που έδωσε η καθεμία στις αντίστοιχες δοκιμασίες εξέτασης. Τέλος, επιχειρείται να συνδυαστούν και μελετηθούν όλοι οι υπό εξέταση παράγοντες και η μεταξύ τους συσχέτιση όπως οι εγκεφαλικοί ρυθμοί σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου, οι απαντήσεις των συμμετεχόντων στο φωνολογικό – μορφολογικό υλικό των τριών διαφορετικών πειραματικών συνθηκών στις 2 ομάδες ενήλικων συμμετεχόντων (με και χωρίς δυσλεξία).

Για τον έλεγχο αυτών των διαφορών μεταξύ των δυο ομάδων πραγματοποιήθηκε έλεγχος t-test. Διαπιστώθηκε η κανονικότητα της κατανομής των δεδομένων με την πραγματοποίηση των ελέγχων Kolmogorov-Smirnov και Shapiro-Wilk. Για τις αναλύσεις χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πρόγραμμα SPSS Statistics V26.

4.2 Ταξινόμηση Δείγματος

Η απόδοση του ταξινομητή αξιολογείται με τους δείκτες ACCURACY (ACC), SENSITIVITY (SENS) και SPECIFICITY (SPEC). Η ακρίβεια (ACC) της ταξινόμησης αφορά στην ικανότητα του ταξινομητή να διαφοροποιεί τις περιπτώσεις των ατόμων με δυσλεξία (DYS) από τα άτομα της ομάδας ελέγχου (CON). Η ευαισθησία (SENS) στο ποσοστό των ατόμων με δυσλεξία που

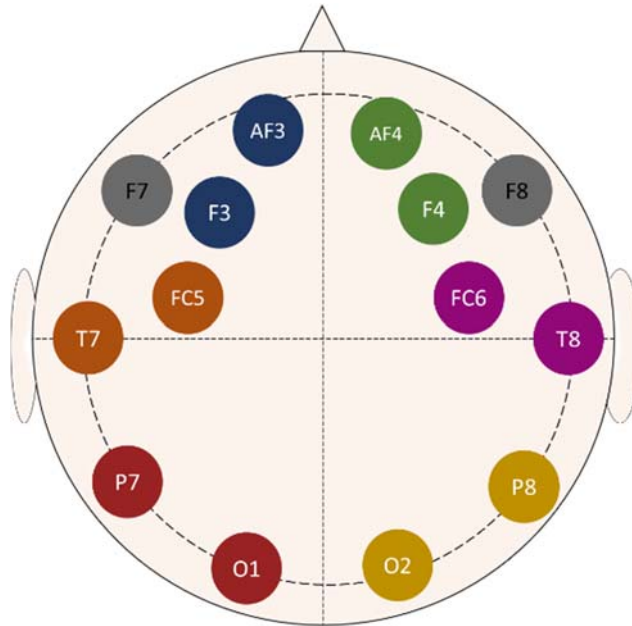
έχουν ταξινομηθεί σωστά ως άτομα με δυσλεξία, και η ειδικότητα (SPEC) στο ποσοστό των περιπτώσεων που ταξινομήθηκαν σωστά ως άτομα χωρίς δυσλεξία μεταξύ όλων των ατόμων που χαρακτηρίστηκαν ως ομάδα ελέγχου.

Τα διανύσματα των χαρακτηριστικών χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του ταξινομητή Τυχαίων Δασών (Random Forests). Τα Τυχαία Δάση είναι μια πολύ δημοφιλής μέθοδος συνόλων ταξινομητών, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία προγνωστικών μοντέλων τόσο για ταξινόμηση όσο και για προβλήματα παλινδρόμησης. Ο αλγόριθμος των Τυχαίων Δασών αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό ανεξάρτητων δέντρων απόφασης, τα οποία λειτουργούν ως ένα σύνολο. Η βασική ιδέα στην οποία στηρίζεται ο αλγόριθμος των Τυχαίων Δασών είναι ότι ένας συνδυασμός από δέντρα απόφασης, που δε συσχετίζονται μεταξύ τους, μπορεί να βελτιστοποιεί την Ακρίβεια ταξινόμησης του μοντέλου. Γίνεται αντιληπτό ότι ο αλγόριθμος των Τυχαίων Δασών στηρίζεται κατά κόρον στον τρόπο λειτουργίας των Δέντρων Απόφασης (Theodoridis, 2015).

Οι αναλύσεις έγιναν στις ακόλουθες ΠΕ που αποτελούνται από διαφορετικά μεγέθη δείγματος μεταξύ φοιτητών με δυσλεξία (DYS) και της ομάδας ελέγχου (CON):

- Ολόκληρος ο εγκέφαλος (AF3, F3, FC5, T7, P7, O1, AF4, F4, FC6, T8, P8 και O2) (DYS = 5, CON = 6)
- Αριστερό ημισφαίριο (AF3, F3, FC5, T7, P7, O1) (DYS = 7, CON = 8)
- Δεξιό ημισφαίριο (AF4, F4, FC6, T8, P8 και O2) (DYS = 7, CON = 11)
- Αριστερός μετωπιαίος λοβός (AF3, F3) (DYS = 11, CON = 9)
- Αριστερός κροταφικός λοβός (T7, FC5) (DYS = 9, CON = 14)
- Αριστερός ινιακός λοβός (O1, P7) (DYS = 9, CON = 13)
- Δεξιός μετωπιαίος λοβός (AF4, F4) (DYS = 7, CON = 13)
- Δεξιός κροταφικός λοβός (T8, FC6) (DYS = 12, CON = 12)
- Δεξιός ινιακός λοβός (O2, P8) (DYS = 12, CON = 14)

Εικόνα 4. Περιοχές ενδιαφέροντος σύμφωνα με τις θέσεις ηλεκτροδίων. (Μπλε: Αριστερή μετωπιαία, Πορτοκαλί: Αριστερή κροταφική, Κόκκινα: Αριστερή ινιακή, Πράσινα: Δεξιά μετωπιαία, Μωβ: Δεξιά κροταφική, Κίτρινα: Δεξιά ινιακή, Γκρι: Απορριφθέντα κανάλια)



Σε ένα δείγμα 26 φοιτητών (12 με δυσλεξία και 14 χωρίς), υπολογίστηκε η ταξινόμηση Τυχαίων Δασών για κάθε Περιοχή Ενδιαφέροντος (ΠΕ) καθόλη τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας συνδυάζοντας και τις τρεις πειραματικές συνθήκες (Πίνακας 2). Το υψηλότερο επίπεδο ταξινόμησης ACC 95.96% (SENS = 97.01, SPEC = 94.78) βρέθηκε σε ολόκληρο τον εγκέφαλο, ενώ το χαμηλότερο επίπεδο ACC αναφέρθηκε στον αριστερό ινιακό λοβό (ACC = 79.56, SENS = 79.73, SPEC = 79.39). Το αριστερό ημισφαίριο έδειξε τη δεύτερη υψηλότερη τιμή ACC 92.66% (SENS = 93.23, SPEC = 92.04), ακολουθούμενη από το δεξί ημισφαίριο (ACC = 90.50, SENS = 88.89, SPEC = 92.44). Επιπλέον, υπήρχαν πέντε ΠΕ όπου τα επίπεδα ACC κυμαίνονταν εντός του 8ου δεκατημρίου. Πιο συγκεκριμένα, ο αριστερός μετωπικός λοβός είχε επίπεδο ACC 83.90% (SENS = 83.72, SPEC = 84.12), ακολουθούμενος από τον δεξιό μετωπικό λοβό (ACC = 83.90, SENS = 83.72, SPEC = 84.12), τον δεξιό ινιακό λοβό (ACC = 83.62, SENS = 82.49, SPEC = 84.98), τον δεξιό κροταφικό λοβό (ACC = 82.02, SENS = 81.69, SPEC = 82.40) και τέλος τον αριστερό κροταφικό λοβό (ACC = 81.12, SENS = 79.49, SPEC = 83.04).

Πίνακας 2. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών σε όλες τις πειραματικές συνθήκες

Περ. Ενδ.	ACC	SENS	SPEC
Εγκέφαλος	95.96	97.01	94.78
Αριστερό ημισφ.	92.66	93.23	92.04
Δεξιό ημισφ.	90.50	88.89	92.44
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	83.90	83.72	84.12
Αρισ. Κροτ. Λοβ	81.12	79.49	83.04
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	79.56	79.73	79.39
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	83.90	83.72	84.12
Δεξ. Κροτ. Λοβ	82.02	81.69	82.40
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	83.62	82.49	84.98

Ο ίδιος ταξινομητής Τυχαίων Δασών χρησιμοποιήθηκε για την ταξινόμηση των συμμετεχόντων για κάθε ΠΕ στην πρώτη πειραματική κατάσταση, όπου αξιολογήθηκε η ακουστική διάκριση λέξεων (Πίνακας 3). Το υψηλότερο επίπεδο ταξινόμησης ACC 96.24% (SENS = 96.34, SPEC = 96.10) βρέθηκε στην EEG καταγραφή του εγκεφάλου όπου χρησιμοποιήθηκαν όλα τα ηλεκτρόδια της συσκευής. Το αριστερό ημισφαίριο κατέγραψε τη δεύτερη υψηλότερη τιμή ACC 93.02% (SENS = 93.37, SPEC = 92.58), ακολουθούμενο από το δεξί ημισφαίριο (ACC = 92.00, SENS = 90.40, SPEC = 94.74). Επιπλέον, υπήρχαν έξι ΠΕ όπου τα επίπεδα ACC κυμαίνονταν εντός του 8^{ου} δεκατημόριου με το χαμηλότερο επίπεδο ACC να αναφέρεται στον αριστερό ινιακό λοβό (ACC = 81.07, SENS = 81.02, SPEC = 81.14). Πιο συγκεκριμένα, ο αριστερός μετωπικός λοβός είχε επίπεδο ACC 86.98% (SENS = 89.12, SPEC = 84.49), ακολουθούμενος από τον δεξιό ινιακό λοβό (ACC = 85.25, SENS = 82.89, SPEC = 88.84), τον δεξιό μετωπιαίο λοβό = 84.48, SENS = 84.85, SPEC = 83.387), τον δεξιό κροταφικό λοβό (ACC = 83.22, SENS = 81.44, SPEC = 85.87) και τέλος τον αριστερό κροταφικό λοβό (ACC = 82.98, SENS = 81.36, SPEC = 85.19).

Πίνακας 3. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην ακουστική διάκριση

Περ. Ενδ.	ACC	SENS	SPEC
Εγκέφαλος	96.24	96.34	96.10
Αριστερό ημισφ.	93.02	93.37	92.58
Δεξιό ημισφ.	92.00	90.40	94.74
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	86.98	89.12	84.49
Αρισ. Κροτ. Λοβ	82.98	81.36	85.19
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	81.07	81.02	81.14
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	84.48	84.85	83.87
Δεξ. Κροτ. Λοβ	83.22	81.44	85.87
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	85.25	82.89	88.84

Η ταξινόμηση των συμμετεχόντων για κάθε ΠΕ ελέγχθηκε και στη δεύτερη πειραματική συνθήκη, όπου ο κάθε συμμετέχων έπρεπε να αναγνωρίσει οπτικά ομάδες λέξεων με παρόμοια φωνολογικά χαρακτηριστικά. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (Πίνακας 4) ήταν παρόμοια με τον τρόπο ταξινόμησης των ατόμων στην πρώτη πειραματική συνθήκη (βλ. Πίνακα 3). Το υψηλότερο επίπεδο ταξινόμησης ACC 95.12% (SENS = 97.34, SPEC = 93.08) βρέθηκε σε ολόκληρο τον εγκέφαλο, ενώ το χαμηλότερο επίπεδο ACC καταγράφηκε στον αριστερό ινιακό λοβό (ACC = 79.46, SENS = 81.00, SPEC = 78.24). Το αριστερό ημισφαίριο έδειξε τη δεύτερη υψηλότερη τιμή ACC 93.22% (SENS = 97.04, SPEC = 89.94). Επιπλέον, υπήρχαν έξι ΠΕ όπου τα επίπεδα ακρίβειας κυμαίνονταν εντός του 8^{ου} δεκατημόριου. Πιο συγκεκριμένα, στο δεξιό ημισφαίριο καταγράφηκε επίπεδο ACC 87.25% (SENS = 86.51, SPEC = 88.02), ακολουθούμενο από τον αριστερό μετωπιαίο λοβό που σημειώθηκε επίπεδο ακρίβειας 86.36% (SENS = 87.81, SPEC = 85.00), τον δεξιό ινιακό λοβό (ACC = 83.58, SENS = 82.19, SPEC = 85.05), τον δεξιό μετωπιαίο λοβό (ACC = 83.10, SENS = 81.36, SPEC = 85.07), τον δεξιό κροταφικό λοβό (ACC = 81.86, SENS = 82.82, SPEC = 80.99) και τέλος τον αριστερό κροταφικό λοβό (ACC = 81.34, SENS = 80.58, SPEC = 82.05).

Πίνακας 4. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην οπτική αναγνώριση

Περ. Ενδ.	ACC	SENS	SPEC
Εγκέφαλος	95.12	97.34	93.08
Αριστερό ημισφ.	93.22	97.04	89.94
Δεξιό ημισφ.	87.25	86.51	88.02
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	86.36	87.81	85.00
Αρισ. Κροτ. Λοβ	81.34	80.58	82.05
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	79.46	81.00	78.24
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	83.10	81.36	85.07
Δεξ. Κροτ. Λοβ	81.86	82.82	80.99
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	83.58	82.19	85.05

Η μηχανή διανυσμάτων υποστήριξης Τυχαίων Δασών αξιοποιήθηκε για την ταξινόμηση των συμμετεχόντων σε μία από τις δύο κατηγορίες φοιτητών με δυσλεξία και σε αυτούς χωρίς δυσλεξία οι οποίοι αποτέλεσαν την ομάδα ελέγχου. Κατά την τρίτη πειραματική συνθήκη ζητήθηκε από τους συμμετέχοντες να αναγνωρίσουν οπτικά ομάδες λέξεων με τη συνοδεία μουσικής υπόκρουσης. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δεν διέφεραν σημαντικά από τις προηγούμενες ταξινομήσεις ολόκληρου του δείγματος και των δύο πειραματικών συνθηκών (Πίνακας 5). Για άλλη μια φορά, το υψηλότερο επίπεδο ταξινόμησης ACC καταγράφηκε σε ολόκληρο τον εγκέφαλο (ACC = 98.01, SENS = 98.73, SPEC = 97.39). Στο αριστερό ημισφαίριο σημειώθηκε η δεύτερη υψηλότερη τιμή ACC 95.37% (SENS = 97.41, SPEC = 93.39), ακολουθούμενο από το δεξιό ημισφαίριο (ACC = 91.00, SENS = 90.75, SPEC = 91.23). Επιπλέον, όλες οι υπόλοιπες ΠΕ κυμαίνονταν εντός του 8^{ου} δεκατημόριου, με τον δεξιό μετωπιαίο λοβό να καταγράφει το χαμηλότερο επίπεδο ACC (ACC = 82.83, SENS = 82.49, SPEC = 83.12). Σε σύγκριση με τις προηγούμενες ταξινομήσεις, στον αριστερό ινιακό λοβό καταγράφηκε το τέταρτο υψηλότερο επίπεδο ACC 88.19% (SENS = 90.38, SPEC = 86.07). Επιπλέον, ο δεξιός ινιακός λοβός κατέγραψε επίπεδο ACC 87.41% (SENS = 87.90, SPEC = 86.88), ακολουθούμενο από τον αριστερό μετωπιαίο λοβό που είχε επίπεδο ACC 86.02% (SENS = 89.77, SPEC = 82.68), τον δεξιό κροταφικό λοβό (ACC = 85.02, SENS = 87.17, SPEC = 82.91), και τέλος, τον αριστερό κροταφικό λοβό (ACC = 84.35, SENS = 85.27, SPEC = 83.40).

Πίνακας 5. Ταξινόμηση δείγματος σε ομάδα ελέγχου και δυσλεξίας με ταξινομητή Τυχαίων Δασών στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση

Περ. Ενδ.	ACC	SENS	SPEC
Εγκέφαλος	98.01	98.73	97.39
Αριστερό ημισφ.	95.37	97.41	93.39
Δεξιό ημισφ.	91.00	90.75	91.23
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	86.02	89.77	82.68
Αρισ. Κροτ. Λοβ	84.35	85.27	83.40
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	88.19	90.38	86.07
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	82.83	82.49	83.12
Δεξ. Κροτ. Λοβ	85.02	87.17	82.91
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	87.41	87.90	86.88

4.3 Συσχέτιση Εγκεφαλικών ρυθμών και Περιοχών ανά Πειραματική Συνθήκη

Με στόχο να εξεταστούν οι διαφορές στις EEG καταγραφές μεταξύ των δύο ομάδων στις 3 πειραματικές συνθήκες (i) την ακουστική διάκριση, (ii) την οπτική αναγνώριση λέξεων, και (iii) την οπτική αναγνώριση με τη συνοδείας μουσικής υπόκρουσης, πραγματοποιήθηκε έλεγχος με στατιστική ανάλυση Analysis of Variance (ANOVA) καθώς η κατανομή των δεδομένων ήταν κανονική.

i. Όσον αφορά την ακουστική διάκριση, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές και σε αρκετές ΠΕ (Πίνακας 6). Πιο συγκεκριμένα, στον εγκέφαλο εντοπίστηκαν διαφορές στον αριστερό κροταφικό λοβό τόσο στον β2 ρυθμό ($p=.050$) όσο και στον γ ρυθμό ($p=.042$). Επίσης, στο αριστερό ημισφαίριο καταγράφηκαν διαφορές τόσο στον αριστερό κροταφικό λοβό στους ρυθμούς δ ($p=.048$), β2 ($p=.025$), γ ($p=.013$), όσο και στον αριστερό ινιακό λοβό στον β1 ρυθμό ($p=.027$). Αναφορικά με το δεξιό ημισφαίριο, διαφορές παρατηρήθηκαν στον δεξιό μετωπιαίο λοβό στους ρυθμούς α2 ($p=.041$), β1 ($p=.041$) και β2 ($p=.046$). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν στατιστικά μεγαλύτερη ενεργοποίηση στους ρυθμούς δ και α2, ενώ σε όλες τις άλλες εγκεφαλικές περιοχές οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν χαμηλότερη ενεργοποίηση σε σύγκριση με τους φοιτητές της ομάδας ελέγχου.

Πίνακας 6. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην ακουστική διάκριση

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Εγκέφαλος					
	Έλεγχος (n=5)		Δυσλεξία (n=6)		df 9	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
T7_β2	0.103	0.070	0.031	0.012	2.250	.050
T7_γ	0.125	0.085	0.033	0.017	2.367	.042

	Αριστερό Ημισφαίριο					
	Έλεγχος (n=8)		Δυσλεξία (n=7)		df 13	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
T7_δ	0.553	0.250	0.775	0.043	-2.182	.048
T7_β2	0.112	0.086	0.029	0.011	2.542	.025
T7_γ	0.135	0.094	0.031	0.014	2.863	.013
O1_β1	0.091	0.031	0.054	0.027	2.487	.027

	Δεξιό Ημισφαίριο					
	Έλεγχος (n=10)		Δυσλεξία (n=2)		df 10	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
F4_α2	0.015	0.008	0.052	0.060	-2.344	.041
F4_β1	0.127	0.015	0.106	0.132	-2.339	.041
F4_β2	0.241	0.011	0.078	0.090	-2.271	.046

Αναφορικά με τις καταγραφές EEG στις υπόλοιπες ΠΕ στην πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δεξιό μετωπιαίο λοβό στα ηλεκτρόδια της προμετωπιαίας περιοχής του δεξιού ημισφαιρίου στους ρυθμούς θ ($p=.039$), α1 ($p=.028$), α2 ($p=.019$), αλλά και στους β1 ($p=.001$) και β2 ($p=.033$). Επίσης στατιστικά σημαντική διαφορά σημειώθηκε στη δεξιά μετωπιαία περιοχή στον α2 ρυθμό ($p=.042$). Οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση σε όλους τους ρυθμούς εκτός από τον ρυθμό θ (Πίνακας 7).

Σχετικά με τον αριστερό κροταφικό λοβό οι καταγραφές EEG βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στην αριστερή μετωπιαία περιοχή στους ρυθμούς δ ($p=.017$), β1 ($p=.048$) β2 ($p=.009$) και γ ($p=.004$) καθώς στην αριστερή ινιακή περιοχή στο ρυθμό β1 ($p=.050$). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι φοιτητές με δυσλεξία κατέγραψαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση μόνο στον δ ρυθμό.

Πίνακας 7. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην ακουστική διάκριση (2)

Δεξιός μετωπιαίος λοβός						
	Έλεγχος (n=13)		Δυσλεξία (n=7)		df 18	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
AF4_θ	0.761	0.088	0.660	0.114	2.223	.039
AF4_α1	0.017	0.008	0.027	0.012	-2.389	.028
AF4_α2	0.014	0.011	0.029	0.014	-2.569	.019
AF4_β1	0.020	0.014	0.052	0.024	-3.758	.001
AF4_β2	0.024	0.027	0.052	0.025	-2.306	.033
F4_α2	0.015	0.008	0.037	0.035	-2.187	.042

Αριστερός κροταφικός λοβός						
	Έλεγχος (n=14)		Δυσλεξία (n=9)		df 21	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
T7_δ	0.556	0.234	0.771	0.100	-2.585	.017
T7_β1	0.074	0.050	0.037	0.018	2.099	.048
T7_β2	0.113	0.082	0.032	0.014	2.890	.009
T7_γ	0.133	0.093	0.031	0.015	3.255	.004
O1_β1	0.081	0.037	0.051	0.024	2.077	.050

ii. Αναφορικά με την πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης παρατηρήθηκαν διαφορές στους ρυθμούς α1 και α2 στην μετωπιαία και προμετωπιαία περιοχή του εγκεφάλου (Πίνακας 8). Πιο συγκεκριμένα, στατιστικά σημαντικές διαφορές σημειώθηκαν στην μετωπιαία και προμετωπιαία περιοχή στους ρυθμούς α1 ($p=.046$), α2 ($p=.010$), α1 ($p=.010$), και α2 ($p=.010$), αντίστοιχα. Επίσης, στη δεξιά ινιακή περιοχή σημειώθηκαν διαφορές στους ρυθμούς δ ($p=.023$), β1 ($p=.013$), β2 ($p=.011$), και γ ($p=.025$). Οι φοιτητές με δυσλεξία κατέγραψαν υψηλότερη ενεργοποίηση στους α και δ ρυθμούς, ενώ στους β και γ ρυθμούς σημείωσαν χαμηλότερη ενεργοποίηση.

Πίνακας 8. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Δεξιό Ημισφαίριο					
	Έλεγχος (n=10)		Δυσλεξία (n=2)		df 10	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
F4_α1	0.029	0.012	0.061	0.045	-2.275	.046
F4_α2	0.025	0.010	0.069	0.048	-3.165	.010
FC6_α1	0.023	0.007	0.049	0.027	-3.187	.010
FC6_α2	0.023	0.007	0.049	0.027	-3.157	.010
O2_δ	0.377	0.142	0.687	0.198	-2.692	.023
O2_β1	0.122	0.278	0.054	0.041	3.008	.013
O2_β2	0.123	0.041	0.028	0.019	3.136	.011
O2_γ	0.141	0.063	0.018	0.010	2.644	.025

Αναφορικά με τα ευρήματα στον αριστερό και δεξιό κροταφικό λοβό παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα (Πίνακας 9). Πιο συγκεκριμένα, στις κροταφικές και ινιακές περιοχές σημειώθηκαν διαφορές στους ρυθμούς β, γ και θ. Επίσης, αξίζει να σημειωθεί ότι οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση μόνο στον θ ρυθμό τόσο στον αριστερό όσο και στον δεξιό κροταφικό λοβό.

Όσον αφορά στον δεξιό και αριστερό ινιακό λοβό οι φοιτητές με δυσλεξία κατέγραψαν υψηλότερη ενεργοποίηση μόνο στον ρυθμό θ ($p=.015$) στην δεξιά ινιακή περιοχή, ενώ σε όλες τις άλλες περιοχές σημείωσαν χαμηλότερες ενεργοποιήσεις ρυθμών. Στον αριστερό ινιακό λοβό σημειώθηκε διαφορά στη βρεγματική περιοχή στον ρυθμό β ($p=.047$), ενώ στον δεξιό ινιακό λοβό καταγράφηκαν σημαντικές διαφορές στην ινιακή περιοχή στους ρυθμούς β1 ($p=.045$), β2 ($p=.024$), γ ($p=.033$), και θ ($p=.015$), καθώς και στην δεξιά βρεγματική περιοχή στο ρυθμό β1 ($p=.028$).

Πίνακας 9. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση (2)

Αριστερός κροταφικός λοβός						
	Έλεγχος (n=14)		Δυσλεξία (n=9)		df 21	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
T7_β2	0.142	0.088	0.064	0.060	2.334	.030
T7_γ	0.170	0.111	0.080	0.081	2.090	.049
O1_θ	0.420	0.132	0.595	0.206	-2.499	.021
O1_β1	0.106	0.025	0.068	0.039	2.813	.010
O1_β2	0.130	0.052	0.071	0.061	2.510	.020
Δεξιός κροταφικός λοβός						
	Έλεγχος (n=14)		Δυσλεξία (n=12)		df 24	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
T8_β2	0.135	0.070	0.077	0.077	2.014	.055
T8_γ	0.155	0.085	0.087	0.090	1.983	.059
O2_θ	0.355	0.152	0.538	0.205	-2.612	.015
O2_β1	0.126	0.035	0.092	0.052	2.005	.050
O2_β2	0.137	0.067	0.084	0.060	2.134	.043
Αριστερός ινιακός λοβός						
	Έλεγχος (n=13)		Δυσλεξία (n=9)		df 20	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
P7_β2	0.140	0.076	0.079	0.048	2.121	.047
Δεξιός ινιακός λοβός						
	Έλεγχος (n=12)		Δυσλεξία (n=12)		df 22	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
P8_β1	0.087	0.047	0.078	0.048	2.357	.028
O2_θ	0.460	0.232	0.548	0.220	-2.634	.015
O2_β1	0.104	0.049	0.089	0.050	2.124	.045
O2_β2	0.114	0.090	0.087	0.063	2.417	.024
O2_γ	0.131	0.106	0.090	0.062	2.280	.033

Κατά την τρίτη πειραματική συνθήκη όπου οι φοιτητές με σιωπηλή ανάγνωση καλούνταν να αναγνωρίσουν οπτικά τη σωστή λέξη με παράλληλη παρουσία μουσικής υπόκρουσης, παρατηρήθηκαν σημαντικές διαφορές στον εγκέφαλο τόσο στην προμετωπιαία περιοχή στον ρυθμό β1 ($p=.023$), όσο και στη βρεγματική περιοχή στον ρυθμό ($p=.043$) (Πίνακας 10). Στο δεξιό ημισφαίριο όλες οι στατιστικά σημαντικές διαφορές αφορούσαν μόνο στους

ρυθμούς α1 και α2. Πιο αναλυτικά, στην δεξιά μετωπιαία περιοχή κατεγράφησαν διαφορές στους ρυθμούς α1 ($p=.050$), οριακά σημαντική τιμή, και α2 ($p=.029$), ενώ στην δεξιά προμετωπιαία περιοχή στους ρυθμούς α1 ($p=.022$), και α2 ($p=.010$). Τέλος, στην δεξιά κροταφική και βρεγματική περιοχή σημειώθηκε στατιστικά σημαντική διαφορά μόνο στον ρυθμό α1 ($p=.038$) και α1 ($p=.050$), αντίστοιχα. Αξίζει να αναφερθεί ότι οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν υψηλότερη ενεργοποίηση σε όλους τους ρυθμούς του δεξιού ημισφαιρίου, ενώ αντιθέτως, παρουσίασαν χαμηλότερη ενεργοποίηση όταν η προς εξέταση περιοχή αφορούσε σε ολόκληρο τον εγκέφαλο.

Πίνακας 10. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Εγκέφαλος					
	Έλεγχος (n=5)		Δυσλεξία (n=6)		df 9	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
FC6_β1	0.461	0.028	0.091	0.026	-2.737	.023
P8_δ	0.496	0.152	0.311	0.094	2.348	.043
	Δεξιό Ημισφαίριο					
	Έλεγχος (n=10)		Δυσλεξία (n=2)		df 10	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
F4_α1	0.023	0.008	0.050	0.044	-2.219	.050
F4_α2	0.024	0.010	0.058	0.045	-2.552	.029
FC6_α1	0.019	0.006	0.042	0.030	-2.708	.022
FC6_α2	0.020	0.006	0.055	0.042	-3.174	.010
T8_α2	0.029	0.017	0.077	0.062	-2.393	.038
P8_α2	0.044	0.008	0.095	0.095	-2.136	.050

iii. Στην τρίτη πειραματική συνθήκη κατεγράφησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον δεξιό μετωπιαίο λοβό στην προμετωπιαία περιοχή μόνο στον ρυθμό β2 ($p=.028$), όπου οι φοιτητές με δυσλεξία κατέγραψαν υψηλότερη ενεργοποίηση, καθώς και στον δεξιό ινιακό λοβό στην ινιακή περιοχή στον ρυθμό γ ($p=.050$), όπου οι φοιτητές με δυσλεξία παρουσίασαν χαμηλότερη ενεργοποίηση σε σύγκριση με τους συνομήλικους συμμετέχοντες (Πίνακας 11).

Πίνακας 11. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση (2)

	Δεξιός μετωπιαίος λοβός					
	Έλεγχος (n=13)		Δυσλεξία (n=7)		df 18	
	M	Sd	M	Sd	t	Sig
AF4_β2	0.037	0.029	0.118	0.118	-2.389	.028

4.4 Συσχέτιση Εγκεφαλικών ρυθμών και Περιοχών στις Πειραματικές Συνθήκες στην Ομάδα Δυσλεξίας

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που ακολουθεί αφορά στη συσχέτιση των ρυθμών στις εγκεφαλικές περιοχές στις οποίες επικεντρώνεται το ερευνητικό ενδιαφέρον αυτής της μελέτης ανά πειραματική συνθήκη μόνο στους φοιτητές με δυσλεξία (Πίνακας 12). Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή του εγκεφάλου βρέθηκαν οι περισσότερες στατιστικά σημαντικές διαφορές στον ρυθμό δ στη δεξιά και αριστερή κροταφική περιοχή ($p=.025$) και ($p=.025$), αντίστοιχα, στη δεξιά βρεγματική περιοχή ($p=.040$), και στην αριστερή ινιακή περιοχή ($p=.054$). Αναφορικά με τον ρυθμό β1 σημειώθηκαν σημαντικές διαφορές στη δεξιά και αριστερή κροταφική περιοχή ($p=.040$) και ($p=.045$), αντίστοιχα, στη δεξιά βρεγματική περιοχή ($p=.017$), και στην αριστερή ινιακή περιοχή ($p=.050$). Παρόμοια αποτελέσματα σημειώθηκαν και για το ρυθμό β2 με την απουσία στατιστικά σημαντικής διαφοράς στην αριστερή ινιακή περιοχή. Τέλος, αναφορικά με τον ρυθμό γ παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο στη δεξιά ($p=.038$) όσο και στην αριστερή κροταφική περιοχή ($p=.017$). Αναφορικά με τις ενεργοποιήσεις ρυθμών φάνηκε ότι στον ρυθμό δ σημειώθηκε μεγαλύτερη ενεργοποίηση στην πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης και μικρότερη στην τρίτη πειραματική συνθήκη. Αντιθέτως, ένα διαφορετικό μοτίβο ενεργοποίησης ρυθμών παρατηρήθηκε στους ρυθμούς β1, β2, και γ όπου η μεγαλύτερη ενεργοποίηση υπήρξε στην οπτική αναγνώριση με παρουσία μουσικής υπόκρουσης, ενώ η χαμηλότερη στην πρώτη πειραματική συνθήκη.

Στο αριστερό ημισφαίριο βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στην αριστερή κροταφική περιοχή στους ρυθμούς δ ($p=.008$), β1 ($p=.020$), β2 ($p=.011$), και γ ($p=.011$). Παρομοίως παρατηρήθηκε το ίδιο μοτίβο ενεργοποιήσεων όπως και στην περιοχή του εγκεφάλου.

Πίνακας 12. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Εγκέφαλος						df 2/12	
	Ακουστική Διάκριση		Οπτική Αναγνώριση		Οπτ. Αναγν. Μουσική		t	Sig
	M	Sd	M	Sd	M	Sd		
T8_δ	0.642	0.150	0.501	0.081	0.401	0.118	5.133	0.025
T8_β1	0.069	0.029	0.097	0.018	0.116	0.029	4.270	0.040
T8_β2	0.063	0.034	0.091	0.021	0.120	0.041	3.718	0.055
T8_γ	0.069	0.033	0.108	0.033	0.155	0.065	4.358	0.038
P8_δ	0.625	0.114	0.486	0.151	0.311	0.094	8.247	0.006
P8_β1	0.067	0.031	0.090	0.029	0.124	0.018	5.801	0.017
P8_β2	0.056	0.012	0.094	0.051	0.144	0.061	4.415	0.037
T7_δ	0.759	0.105	0.584	0.235	0.404	0.162	5.103	0.025
T7_β1	0.035	0.017	0.074	0.047	0.098	0.035	4.061	0.045
T7_β2	0.031	0.012	0.084	0.066	0.140	0.058	5.659	0.019
T7_γ	0.033	0.017	0.109	0.088	0.178	0.074	5.825	0.017
O1_δ	0.640	0.166	0.471	0.178	0.348	0.164	3.764	0.054
O1_β1	0.060	0.027	0.087	0.038	0.115	0.028	3.899	0.050

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Αριστερό Ημισφαίριο						df 2/18	
	Ακουστική Διάκριση		Οπτική Αναγνώριση		Οπτ. Αναγν. Μουσική		t	Sig
	M	Sd	M	Sd	M	Sd		
T7_δ	0.776	0.103	0.609	0.207	0.453	0.177	6.437	.008
T7_β1	0.034	0.016	0.070	0.042	0.090	0.039	4.885	.020
T7_β2	0.029	0.011	0.078	0.061	0.127	0.069	5.784	.011
T7_γ	0.031	0.014	0.100	0.082	0.160	0.090	5.817	.011

Στον αριστερό κροταφικό λοβό βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές μόνο στην αριστερή κροταφική περιοχή στους ρυθμούς δ ($p=.009$), β2 ($p=.011$), και γ ($p=.042$). Παρομοίως, παρατηρήθηκε το ίδιο μοτίβο ενεργοποιήσεων όπως και στην περιοχή του εγκεφάλου (Πίνακας 13).

Πίνακας 13. Συσχέτιση ρυθμών στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας (2)

Εγκ.Περ. _Ρυθμός	Αριστερός κροταφικός λοβός						df 2/24	
	Ακουστική Διάκριση		Οπτική Αναγνώριση		Οπτ. Αναγν. Μουσική		t	Sig
	M	Sd	M	Sd	M	Sd		
T7_δ	0.771	0.100	0.649	0.198	0.500	0.192	5.749	.009
T7_β2	0.032	0.014	0.064	0.060	0.138	0.104	5.474	.011
T7_γ	0.031	0.015	0.080	0.081	0.127	0.102	3.621	.042

4.5 Επιδόσεις στις δοκιμασίες εξέτασης ανά Πειραματική Συνθήκη

Στην ενότητα που ακολουθεί πραγματοποιήθηκε διερεύνηση των επιδόσεων των συμμετεχόντων φοιτητών τόσο από την ομάδα ελέγχου όσο και από την ομάδα δυσλεξίας στις δοκιμασίες εξέτασης σε κάθε πειραματική συνθήκη. Οι επιδόσεις αυτές αφορούσαν στην απαντήσεις που επέλεξαν οι συμμετέχοντες στις δοκιμασίες φωνολογικού και μορφολογικού υλικού. Όπως περιγράφηκε αναλυτικά στο 3^ο κεφάλαιο (Μεθοδολογία, 3.6), σε κάθε πειραματική συνθήκη, οι συμμετέχοντες επέλεξαν την απάντηση που θεωρούσαν ως σωστή, αλλά είχαν και τη δυνατότητα να αλλάζουν την πρώτη απάντησή τους μέσα στα επιτρεπόμενα χρονικά περιθώρια. Στον πίνακα που ακολουθεί καταγράφεται ο μέσος όρος των σωστών απαντήσεων των δύο ερευνητικών ομάδων σε κάθε πειραματική συνθήκη. Όπως ήταν αναμενόμενο, οι φοιτητές της ομάδας ελέγχου (τυπικής ανάπτυξης) σημείωσαν υψηλότερους μέσους όρους σωστών απαντήσεων σε κάθε πειραματική συνθήκη (Πίνακας 14). Αξίζει να σημειωθεί ότι και οι δύο ομάδες σημείωσαν τον υψηλότερο μέσο όρο στην τρίτη πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης με την παρουσία μουσικής υπόκρουσης (με μικρή διαφορά από τους μέσους όρους της δεύτερης πειραματικής συνθήκης της οπτικής αναγνώρισης), ενώ ο χαμηλότερος μέσος όρος καταγράφηκε στην πρώτη πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης.

Πίνακας 14. Επιδόσεις στις δοκιμασίες εξέτασης ανά πειραματική συνθήκη

Πειραματική συνθήκη	Επιδόσεις στις δοκιμασίες εξέτασης			
	Έλεγχος (n=14)		Δυσλεξία (n=12)	
	M	Sd	M	Sd
Ακουστική διάκριση	44.64	2.763	43.08	2.906
Οπτική αναγνώριση	63.43	2.209	58.00	5.862
Οπτική αναγνώριση - μουσική υπόκρουση	64.71	1.326	59.08	5.468

4.6 Συσχέτιση Περιοχής Ενδιαφέροντος και επιδόσεων στις δοκιμασίες εξέτασης ανά Πειραματική Συνθήκη

Σε αυτήν την ενότητα αναλύεται η συσχέτιση των μέσων όρων των σωστών απαντήσεων που έδωσαν οι συμμετέχοντες των δύο ερευνητικών ομάδων (ομάδα ελέγχου –ομάδα Δυσλεξίας) στις ερωτήσεις φωνολογικού και μορφολογικού περιεχομένου με την προς εξέταση εγκεφαλική περιοχή στις τρεις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες (Πίνακας 15). Πιο συγκεκριμένα, στην πρώτη πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στο αριστερό ημισφαίριο ($p=.029$) και στον αριστερό μετωπιαίο λοβό ($p=.054$) με τους φοιτητές με δυσλεξία να σημειώνουν χαμηλότερους μέσους όρους σωστών απαντήσεων.

Πίνακας 15. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην ακουστική διάκριση ανά ΠΕ

Περιοχή Ενδιαφέροντος	Επίδοση στις Δοκιμασίες Εξέτασης						
	df	Έλεγχος		Δυσλεξία		t	Sig
		M	Sd	M	Sd		
Αριστερό ημισφ.	13	45.375	1.768	42.000	3.416	2.453	0.029
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	18	45.220	1.716	42.910	2.982	2.059	0.050

Αναφορικά με τη δεύτερη πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλους τους επιμέρους λοβούς υπό εξέταση (Πίνακας 16). Αναλυτικότερα, κατεγράφησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο στον αριστερό μετωπιαίο ($p=.020$), κροταφικό ($p=.012$), και ινιακό λοβό ($p=.012$), όσο και στον δεξιό

μετωπιαίο ($p=.025$), κροταφικό ($p=.004$), και ινιακό λοβό ($p=.007$). Παρομοίως, οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν χαμηλότερους μέσους όρους σωστών απαντήσεων έναντι των συνομηλίκων συμμετεχόντων φοιτητών της ομάδας ελέγχου.

Πίνακας 16. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην οπτική αναγνώριση ανά ΠΕ

Περιοχή Ενδιαφέροντος	df	Επίδοση στις Δοκιμασίες Εξέτασης					
		Έλεγχος		Δυσλεξία		t	Sig
		M	Sd	M	Sd		
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	18	62.890	2.147	57.550	5.922	2.562	0.020
Αρισ. Κροτ. Λοβ	21	63.430	2.209	58.110	6.754	2.756	0.012
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	20	63.615	2.180	58.111	6.753	2.763	0.012
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	18	63.230	2.166	60.140	3.532	2.440	0.025
Δεξ. Κροτ. Λοβ	24	63.430	2.209	58.000	5.862	3.218	0.004
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	22	63.420	2.314	58.000	5.862	2.977	0.007

Αναφορικά με την τρίτη πειραματική συνθήκη της οπτικής αναγνώρισης με την ταυτόχρονη παρουσία μουσικής υπόκρουσης σημειώθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλους τους επιμέρους λοβούς υπό εξέταση καθώς και στην περιοχή του αριστερού ημισφαιρίου ($p=.035$) (Πίνακας 17). Αναλυτικότερα, κατεγράφησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο στον αριστερό μετωπιαίο ($p=.008$), κροταφικό ($p=.012$), και ινιακό λοβό ($p=.012$), όσο και στον δεξιό μετωπιαίο ($p=.010$), κροταφικό ($p=.001$), και ινιακό λοβό ($p=.002$). Παρομοίως, οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν χαμηλότερους μέσους όρους σωστών απαντήσεων έναντι των συνομηλίκων συμμετεχόντων φοιτητών της ομάδας ελέγχου.

Πίνακας 17. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στην οπτική αναγνώριση με μουσική υπόκρουση ανά ΠΕ

Περιοχή Ενδιαφέροντος	df	Επίδοση στις Δοκιμασίες Εξέτασης					
		Έλεγχος		Δυσλεξία		t	Sig
		M	Sd	M	Sd		
Αριστερό ημισφ.	13	64.500	1.603	58.571	6.973	2.347	0.035
Αρισ. Μετωπ. Λοβ.	18	64.440	1.509	58.730	1.685	2.969	0.008
Αρισ. Κροτ. Λοβ	21	63.430	2.209	58.110	6.754	2.756	0.012
Αριστ. Ινιακ. Λοβ.	20	63.615	2.180	58.111	6.753	2.763	0.012
Δεξ. Μετωπ. Λοβ.	18	64.620	1.325	60.570	4.826	2.886	0.010
Δεξ. Κροτ. Λοβ	24	64.710	1.326	59.080	5.468	3.739	0.001
Δεξ. Ινιακ. Λοβ.	22	64.670	1.371	59.080	5.468	3.431	0.002

4.7 Συσχέτιση Επίδοση στην Φωνολογική Ενημερότητα στις Πειραματικές Συνθήκες στην Ομάδα Δυσλεξίας

Στην τελευταία ενότητα στατιστικής ανάλυσης των δεδομένων, μελετήθηκε η συσχέτιση των μέσων όρων των σωστών απαντήσεων μόνο των φοιτητών με δυσλεξία στις εννέα εγκεφαλικές περιοχές ενδιαφέροντος ανά πειραματική συνθήκη (Πίνακας 18). Αξίζει να σημειωθεί ότι βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές, με τις περισσότερες πλην μίας σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας $<.001$, σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές που εξετάστηκαν, και παρατηρήθηκε ένα παρόμοιο μοτίβο ευρημάτων. Αναλυτικότερα οι χαμηλότεροι μέσοι όροι σημειώθηκαν στην πρώτη πειραματική συνθήκη της ακουστικής διάκρισης, ενώ στη δεύτερη και τρίτη πειραματική συνθήκη, δηλαδή την οπτική αναγνώριση και την οπτική αναγνώριση με παρουσία μουσικής υπόκρουσης, οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν παρόμοιους μέσους όρους με ελαφρώς υψηλότερο μέσο όρο στην συνθήκη με την ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος.

Πίνακας 18. Συσχέτιση επίδοσης στις δοκιμασίες εξέτασης στις ΠΕ στις 3 πειραματικές συνθήκες στην ομάδα Δυσλεξίας

Περιοχή Ενδιαφέροντος	df	Επίδοση στις Δοκιμασίες Εξέτασης							
		Ακουστική Διάκριση		Οπτική Αναγνώριση		Οπτ. Αναγν. Μουσική		t	Sig
		M	Sd	M	Sd	M	Sd		
Εγκέφαλος	2/12	43.800	1.789	61.600	2.881	61.600	5.320	39.804	0.000
Αριστερό ημισφ.	2/18	42.000	3.416	57.429	7.502	58.571	6.973	15.431	0.000
Αρισ. Μετωπ. Λ.	2/30	42.000	3.416	57.429	7.502	58.571	6.973	34.079	0.000
Αρισ. Κροτ. Λ.	2/24	42.556	3.167	58.111	6.754	59.222	6.220	24.853	0.000
Αριστ. Ινιακ. Λ.	2/24	42.556	3.167	58.111	6.754	59.444	6.287	25.013	0.000
Δεξιό ημισφ.	2/3	42.000	3.416	57.429	7.502	58.571	6.973	20.774	0.017
Δεξ. Μετωπ. Λ.	2/18	44.143	1.676	60.143	3.532	60.571	4.826	47.737	0.000
Δεξ. Κροτ. Λ.	2/33	43.083	2.906	58.000	5.862	59.083	5.468	39.582	0.000
Δεξ. Ινιακ. Λ.	2/33	43.083	2.906	58.000	5.862	59.083	5.468	39.582	0.000

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο ΣΥΖΗΤΗΣΗ

5.1 Εισαγωγή στη Συζήτηση

Σκοπό της παρούσας διατριβής αποτέλεσε η διερεύνηση των νευροφυσιολογικών χαρακτηριστικών και των εγκεφαλικών λειτουργιών ενηλίκων ατόμων με αναπτυξιακή δυσλεξία, με την εφαρμογή συνδυασμού μεθόδων καταγραφής της λειτουργίας του εγκεφάλου, προκειμένου να αναδειχθούν τα κύρια χαρακτηριστικά της δυσλεξίας βασιζόμενοι στη θεωρητική προσέγγιση του μεγαλοκυτταρικού συστήματος. Για το λόγο αυτό διαμορφώθηκαν τρεις πειραματικές συνθήκες αξιολόγησης δοκιμασιών φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας, στο πλαίσιο ακουστικής διάκρισης, οπτικής αναγνώρισης, και οπτικής αναγνώρισης με ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος.

Σε ένα δεύτερο επίπεδο, μέσω της παρούσας έρευνας διερευνήθηκε ο αιτιολογικός ρόλος του νευροβιολογικού υποβάθρου της δυσλεξίας, μέσω νέων, πρωτοποριακών και μη επεμβατικών μεθόδων λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου. Τέλος, επιχειρήθηκε να ανιχνευθούν τα αποτελέσματα των EEG καταγραφών με δυσλεξία από διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου, μέσω εφαρμογής και εκπαίδευσης του ταξινομητή Τυχαίων Δασών στοχεύοντας στον έλεγχο της κατηγοριοποίησης και διαμόρφωσης προφίλ ατόμων με διακριτά χαρακτηριστικά δυσλεξίας από ομάδα ατόμων χωρίς χαρακτηριστικά δυσλεξίας.

Αναλύθηκαν σήματα EEG που ελήφθησαν από 26 δεξιόχειρες ενήλικες οι οποίοι φοιτούσαν στα Τμήματα Ιατρικής και Λογοθεραπείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Όλοι οι φοιτητές συμμετείχαν εθελοντικά στην πειραματική διαδικασία και αποτέλεσαν το δείγμα της έρευνας, το οποίο περιλάμβανε δύο κύριες ομάδες, δηλαδή, την ομάδα Δυσλεξίας που αποτελείτο από 12 επισήμως διαγνωσμένους φοιτητές με δυσλεξία, και την ομάδα Ελέγχου η οποία αποτελείτο από 14 φοιτητές τυπικής ανάπτυξης.

Προηγούμενες σχετικές μελέτες έχουν καταγράψει σήματα EEG σε κατάσταση ηρεμίας (Rezvani et al., 2019; Duda et al., 2000) ή / και κατά τη διάρκεια γραπτής δοκιμασίας (Duda et al., 2000) ή κατά την αξιολόγηση ακουστικού ερεθίσματος (Andreadis et al., 2009; Frid &

Bernitz, 2012). Στην παρούσα μελέτη, οι καταγραφές EEG πραγματοποιήθηκαν κατά τη διενέργεια τριών πειραματικών συνθηκών με παρουσία ακουστικού ερεθίσματος στην πρώτη συνθήκη, οπτικού ερεθίσματος στη δεύτερη συνθήκη, και ένα συνδυασμό οπτικού και μουσικού ερεθίσματος στην τρίτη πειραματική συνθήκη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα ακουστικά και οπτικά ερεθίσματα περιείχαν διάκριση και αναγνώριση γλωσσικού υλικού σε επίπεδο λέξης, ενώ το μουσικό ερέθισμα στην τρίτη συνθήκη αποτελούσε απόσπασμα από μουσική σύνθεση του Mozart. Τα συγκεκριμένα ερεθίσματα επιλέχθηκαν επειδή αφορούν δύο δεξιότητες κατά τις οποίες μπορούν να ανιχνευθούν μαθησιακά ελλείμματα.

Σε αυτήν τη μελέτη επιχειρήθηκε να διερευνηθεί η αποτελεσματικότητα μιας νέας πρωτοποριακής, μη επεμβατικής μεθόδου λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου. Για αυτόν το λόγο, τα φασματικά χαρακτηριστικά εξήχθησαν από ζεύγη και συστάδες ηλεκτροδίων μέσω της χρήσης μιας εμπορικής ασύρματης φορητής αισθητηριακής συσκευής το Emotiv EPOC+, η οποία είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες συσκευές EEG (Badcock et al., 2015; Duvinage et al., 2012), αποτελούμενη από 14 αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετήθηκαν σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα 10-20 (AF3, F3, F7, FC5, T7, P7, O1, AF4, F4, F8, FC6, T8, P8 και O2).

Εξ όσων γνωρίζουμε από τη σχετική βιβλιογραφία, έχουν υπάρξει έρευνες οι οποίες μελέτησαν την απόδοση της συγκεκριμένης συσκευής με ικανοποιητικά αποτελέσματα (Duvinage et al., 2012; Bobrov et al., 2011). Παρολαυτά, είναι η πρώτη φορά που χρησιμοποιείται αυτή η εξελιγμένη, ελαφριά και φορητή συσκευή για την καταγραφή σημάτων EEG με σκοπό την ανάλυση των Περιοχών Ενδιαφέροντος του εγκεφάλου οι οποίες σχετίζονται με τη δυσλεξία ενήλικου πληθυσμού. Σε μία πρόσφατη παρόμοια έρευνα, ο Gunet Eroglu et al., (2018) χρησιμοποίησε το Emotiv EPOC+ και σχεδίασε μια εφαρμογή νευροανάδρασης για κινητές συσκευές σε μια προσπάθεια βελτίωσης των γνωστικών λειτουργιών σε παιδιά με δυσλεξία. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της παραπάνω έρευνας δεν μπορούν να συγκριθούν άμεσα με την παρούσα μελέτη, καθώς οι εγκεφαλικές ενεργοποιήσεις διαφέρουν μεταξύ παιδιών και ενηλίκων. Επιπλέον, πρέπει να ληφθεί υπόψη το γεγονός ότι οι ενήλικες παρακολουθούν προγράμματα μακροχρόνιας παρέμβασης, ακόμη και από την προσχολική ηλικία.

5.1.1 Ταξινόμηση του δείγματος

Η προτεινόμενη μεθοδολογία μέσω της εφαρμογής ταξινομητή Τυχαίων Δασών που βασίζεται στην καταγραφή EEG ανέδειξε σημαντικά αποτελέσματα στην ανίχνευση της ομάδας ατόμων με δυσλεξία. Η απόδοση του ταξινομητή αξιολογήθηκε με τους δείκτες της Ακρίβειας (ACC), Ευαισθησίας (SENS) και Ειδικότητας (SPEC) (Mun & Jumadi, 2020), όπου η ακρίβεια αφορά στην ικανότητα του ταξινομητή να διαφοροποιεί τις περιπτώσεις των ατόμων με δυσλεξία από τα άτομα της ομάδας ελέγχου. Επίσης, η Ευαισθησία αξιολογείται ως το ποσοστό των ατόμων με δυσλεξία που έχουν ταξινομηθεί σωστά ως άτομα με δυσλεξία, ενώ η Ειδικότητα ως το ποσοστό των περιπτώσεων που ταξινομήθηκαν σωστά ως άτομα χωρίς δυσλεξία μεταξύ όλων των ατόμων που χαρακτηρίστηκαν ως ομάδα ελέγχου.

Οι αναλύσεις ταξινόμησης αξιολογήθηκαν τόσο στη συνολική διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας όσο και χωριστά στην κάθε πειραματική συνθήκη. Σημειώνεται ότι οι καταγραφές EEG αφορούσαν σε ενήλικα άτομα και ο συνολικός μέσος όρος χρόνου καταγραφής EEG ήταν 28 λεπτά (9.5 λεπτά κατά μέσο όρο διαρκούσε η κάθε πειραματική συνθήκη). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να επισημανθεί ότι σε αντίστοιχες έρευνες ο μέσος χρόνος καταγραφής ήταν αρκετά μικρότερος και οι περισσότερες αφορούσαν σε δοκιμασίες σε κατάσταση ηρεμίας (Πίνακας 19). Κοινό σημαντικό εύρημα σε όλες τις ταξινομήσεις που επιχειρήθηκαν αποτέλεσε το υψηλό ποσοστό Ακρίβειας ταξινόμησης ατόμων με δυσλεξία στα δεδομένα που αποκτήθηκαν από την μέτρηση ολόκληρου του εγκεφάλου, ποσοστό το οποίο κυμάνθηκε από 95% έως 98%, με αντίστοιχα υψηλά ποσοστά τόσο στον δείκτη Ευαισθησίας (96% - 98%) όσο και στον δείκτη Ειδικότητας (93% - 97%). Αντίστοιχα υψηλά ποσοστά Ακρίβειας ταξινόμησης σημειώθηκαν στις μετρήσεις τόσο του αριστερού (93% - 95%) όσο και του δεξιού ημισφαιρίου (88% - 92%). Δεν βρέθηκε κοινό μοτίβο χαμηλότερου ποσοστού Ακρίβειας ταξινόμησης καθώς διαφοροποιήθηκε ανάλογα με την υπό εξέταση πειραματική συνθήκη. Παρολαυτά, ακόμα και το χαμηλότερο ποσοστό 79% στον αριστερό ινιακό λοβό θεωρείται αρκετά ικανοποιητικό όσον αφορά ταξινομήσεις ατόμων με δυσλεξία (Bosch-Bayard et al., 2018). Τα υψηλά ποσοστά της Ακρίβειας ταξινόμησης και διάκρισης των συμμετεχόντων επιβεβαιώνουν την ικανότητα επαρκούς καταγραφής των διαφορών στη δυναμική του εγκεφάλου μεταξύ ενήλικων τυπικής ανάπτυξης και ατόμων με δυσλεξία.

Γενικότερα, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η προτεινόμενη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε με την εφαρμογή του ταξινομητή Τυχαίων Δασών, παρέχει σαφή διάκριση μεταξύ ατόμων με και χωρίς δυσλεξία αποκλειστικά από τα ποσοτικά χαρακτηριστικά των καταγραφών EEG. Από την άλλη, η μελέτη που πραγματοποίησαν οι Frid και Breznitz (2012) είναι η μόνη μελέτη που αναλύει σήματα EEG από ενήλικες, επομένως, η σύγκριση με άλλες μελέτες που καταγράφουν σήματα EEG σε παιδικό πληθυσμό δεν είναι ξεκάθαρη. Στον Πίνακα 19 παρουσιάζονται οι πιο πρόσφατες μελέτες με καταγραφή EEG σε πληθυσμό με δυσλεξία.

Πίνακας 19. Αναπαράσταση των πιο πρόσφατων μελετών με καταγραφή EEG σε άτομα με δυσλεξία

Έρευνα	Βάση δεδομένων (DYS/ CN)	Συνθήκη	Διάρκεια EEG	Ηλικία (έτη)	Αριθμός ηλεκτροδίων	Μεθοδολογία	Αποτελέσματα (%)		
							ACC	SENS	SPEC
Andreadis et al., (2009)	38/19	ακουστικό ερέθισμα	500 ms πριν/μετά ερέθισμα	2 – 13	15	Approximate Entropy, SVM	Δεν αναφέρθηκε	89.47	59.87
Frid & Breznitz (2012)	20/30	ακουστικό ερέθισμα	200 ms πριν ερέθισμα	24 – 40	64	Positive Area (Ap), Spectral Flatness Measure, statistical features and Power Spectral Density, SVM	84.60	Δεν αναφέρθηκε	
Rezvani et al., (2019)	29/15	κατάσταση ηρεμίας	2 λεπτά	8	64	37 features from graphs, SVM (linear)	95.56	Δεν αναφέρθηκε	
Zainuddin et al., (2019)	20/10	κατάσταση ηρεμίας, γραφή	Δεν αναφέρθηκε	7-12	8	DWT, coefficient of beta and ratio theta/beta, ELM	89.00	Δεν αναφέρθηκε	
Παρούσα έρευνα	12/14	ακουστικό, οπτικό, μουσική υπόκρουση	28 λεπτά	19-26	12	filtering, Energy δ , θ , $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\theta 1$, $\theta 2$, γ , Random Forests	87.04	90.91	80.95

5.1.2 1^η πειραματική συνθήκη – Ακουστική διάκριση

Στην πρώτη πειραματική συνθήκη αυτής της έρευνας, αξιολογήθηκε η ικανότητα ακουστικής διάκρισης σε επίπεδο καταγραφής της λειτουργίας του εγκεφάλου ενηλίκων ατόμων με και χωρίς δυσλεξία (για εκτενή περιγραφή βλ. 3^ο Κεφάλαιο Μεθοδολογία, 3.6 Πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας). Για το σκοπό αυτό αναλύθηκε, αφενός, η ενεργοποίηση των εγκεφαλικών ρυθμών στις Περιοχές Ενδιαφέροντος με την καταγραφή σημάτων EEG, και αφετέρου, η επίδοση των συμμετεχόντων σε δοκιμασίες φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας.

Τα ευρήματα ανέδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στις περιοχές του εγκεφάλου και στα δύο ημισφαίρια μεταξύ των δύο ομάδων, αποκαλύπτοντας έτσι την ετερογένεια της ενεργοποίησης των ρυθμών σε διαφορετικές περιοχές (Perrachione et al., 2016). Πιο συγκεκριμένα, στην αριστερή κροταφική και ινιακή περιοχή και στη δεξιά μετωπιαία περιοχή οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν υψηλότερη ενεργοποίηση στους ρυθμούς δ και α (α1 και α2), ενώ είχαν χαμηλότερη ενεργοποίηση στους ρυθμούς θ, β (β1 και β2), και γ. Έχοντας υπόψιν ότι πρόκειται για δοκιμασία ακουστικής διάκρισης, όπου αξιολογούνται κυρίως φωνολογικού τύπου δεξιότητες, μία αρκετά σημαντική υψηλή ενεργοποίηση του ρυθμού δ έναντι των άλλων ρυθμών (M.O. δ = 0.771), φανερώνει ότι η ομάδα των φοιτητών με δυσλεξία αδυνατεί να συγκεντρωθεί στη συγκεκριμένη δοκιμασία. Επίσης, η παρουσία του ευρήματος στην αριστερή κροταφική περιοχή, η οποία θεωρείται η κύρια νευρωνική περιοχή υπεύθυνη για τις φωνολογικές αναπαραστάσεις που βασίζονται σε ήχους (Buchsbaum, Hickok, & Humphries, 2001), καταδεικνύει τη δυσκολία των ατόμων αυτών να προβούν σε ορθή ακουστική διάκριση των λέξεων, με αποτέλεσμα να σημειώνουν χαμηλότερο μέσο όρο ορθών απαντήσεων σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Όντας σύμφωνοι με τα αποτελέσματα των Gori et al., (2015) και Kandel et al., (2017), αυτά τα ευρήματα εμπλουτίζουν την υπόθεση ότι η αριστερή κροταφική χαμηλή δραστηριότητα αποκαλύπτει μια ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ δυσκολιών ακουστικής επεξεργασίας και δυσλειτουργιών στην ανάγνωση.

Αναφορικά με τη χαμηλότερη ενεργοποίηση των ρυθμών θ και β, το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με ευρήματα παρόμοιων ερευνών όπου καταγράφεται αυξημένη ενεργοποίηση των συγκεκριμένων ρυθμών κατά τη διάρκεια φωνολογικής δοκιμασίας (Spironelli & Angrilli, 2009). Μία πιθανή ερμηνεία για αυτήν τη διαφοροποίηση παρέχεται από τους ίδιους ερευνητές, οι οποίοι αναφέρουν ότι η ενεργοποίηση του ρυθμού β δεν έχει αναπτυχθεί καλά στα παιδιά, ενώ σε ενήλικες η σχετική συμβολή της φασματικής ενεργοποίησης β αντιστρέφεται.

Το κοινό εύρημα στο αριστερό ημισφαίριο και στον αριστερό κροταφικό λοβό σχετικά με τη χαμηλότερη ενεργοποίηση του ρυθμού β όπως καταγράφηκε στους φοιτητές με δυσλεξία, πιθανώς να υποδηλώνει διαταραχές των συγκεκριμένων ατόμων στην ενεργό σκέψη, στην ενεργό προσοχή, καθώς και στη συγκέντρωση για την επίλυση προβλημάτων (Καραπέτσας,

1993; Zakoroulou et al., 2019). Επίσης, η εύρεση χαμηλότερου ρυθμού β στην αριστερή ινιακή περιοχή ενδέχεται να συνδέεται με αδυναμία ταχείας επεξεργασίας των ακουστικών πληροφοριών, ενώ αντίθετα η καταγραφή υψηλότερης ενεργοποίησης ρυθμού β στη δεξιά προμετωπιαία και μετωπιαία περιοχή ίσως υποδηλώνει αύξηση του άγχους ή μείωση του βαθμού χαλάρωσης κάτι που ενισχύει την λιγότερο χαλαρή κατάσταση των συμμετεχόντων φοιτητών με δυσλεξία.

5.1.3 2^η πειραματική συνθήκη – Οπτική Αναγνώριση

Στη δεύτερη πειραματική συνθήκη κατά την οποία αξιολογήθηκε η ικανότητα των συμμετεχόντων οπτικής αναγνώρισης σε επίπεδο λέξεων (για εκτενή περιγραφή βλ. 3^ο Κεφάλαιο Μεθοδολογία, 3.6 Πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας), ανεδείχθησαν στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο σε περιοχές του δεξιού όσο και του αριστερού ημισφαιρίου, εύρημα το οποίο έρχεται να επιβεβαιώσει παρόμοιες μελέτες όπου παρατηρήθηκε διαφοροποίηση κινητικών και αισθητηριακών πληροφοριών μεταξύ των δύο ημισφαιρίων σε άτομα με δυσλεξία (Zakoroulou et al., 2019). Αυτές οι αναπτυξιακές μεταβολές ή ασυμμετρίες στο νευρωνικό δίκτυο εγκεφαλικών δομών μπορεί να αποτελούν τη βάση ερμηνείας των αισθητηριακών και γνωστικών προβλημάτων στη δυσλεξία. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αποτελέσματα τα οποία ανέδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους μέσους όρους ενεργοποίησης ρυθμών μεταξύ των φοιτητών με δυσλεξία και της ομάδας ελέγχου, σχηματοποίησαν ένα συγκεκριμένο μοτίβο ενεργοποίησης ανεξαρτήτως εγκεφαλικής πλευρίωσης ή / και περιοχής.

Αναλυτικότερα, οι φοιτητές με δυσλεξία σημείωσαν μεγαλύτερη ενεργοποίηση στους ρυθμούς α ($\alpha 1$ και $\alpha 2$), δ και θ , ενώ εμφάνισαν χαμηλότερη ενεργοποίηση στους ρυθμούς β ($\beta 1$ και $\beta 2$) και γ . Θα πρέπει να επισημανθεί ότι κατά τη συνθήκη οπτικής αναγνώρισης στην κατηγορία λέξεων που σχετιζόταν και με την ιστορική (γραμματική) ορθογραφία όπου οι φοιτητές έπρεπε να αναγνωρίσουν και να «ανακαλέσουν» γραμματικούς ορθογραφικούς κανόνες που σχετίζονταν με το θέμα ή την κατάληξη μιας λέξης. Λαμβάνοντας υπόψιν το γεγονός ότι τα άτομα που συμμετείχαν στην ομάδα της δυσλεξίας ήταν ενήλικες εγγράμματοι φοιτητές τριτοβάθμιας εκπαίδευσης στη Σχολή Επιστημών Υγείας, οι οποίοι

βάσει του ιστορικού τους είχαν δεχθεί λογοθεραπευτική παρέμβαση στη σχολική ηλικία, γίνεται κατανοητό ότι προσπαθούν να αντισταθμίσουν τυχόν ελλείμματα με αυξημένη ενεργοποίηση του ρυθμού θ. Εξίσου ενδιαφέρον εύρημα αποτελεί η βασική διαφορά ενεργοποίησης του ρυθμού θ σε σύγκριση με τα αποτελέσματα της πειραματικής συνθήκης στην ακουστική διάκριση, όπου καταγράφεται μεγαλύτερη ενεργοποίηση του ρυθμού θ. Το εύρημα αυτό δύναται να ερμηνευτεί από τη συνοχή του EEG που καταγράφεται στις διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων και η οποία φαίνεται να παίζει διαφορετικό ρόλο κάθε φορά: η αυξημένη συνοχή στο ρυθμό θ συσχετίζεται με τις μνημονικές διεργασίες που σχετίζονται με τη γλώσσα και η συνοχή του ρυθμού θ αυξάνεται όταν οι απαιτήσεις των εργασιών θέλουν πιο αποτελεσματική επεξεργασία πληροφοριών (Paragiannopoulou & Lagoroulos, 2016).

Επιπλέον, χαρακτηριστικό είναι το εύρημα της χαμηλότερης ενεργοποίησης των ρυθμών β (β1 και β2) και γ στην ινιακή περιοχή τόσο του δεξιού όσο και του αριστερού ημισφαιρίου, εύρημα το οποίο φανερώνει ότι τα μικρότερα σε μέγεθος και αποδιοργανωμένα μεγαλοκύτταρα τα οποία βρίσκονται στον ινιακό φλοιό και ευθύνονται για την ενεργοποίηση της κίνησης των οπτικών ερεθισμάτων, ενδεχομένως υπολειτουργούν. Η μειωμένη ικανότητα γρήγορης ανίχνευσης οπτικών ερεθισμάτων μπορεί να οδηγήσει σε οπτικό στρες. Τα άτομα με δυσλεξία εκδηλώνουν μια ποικιλία συμπτωμάτων οπτικού στρες, όπως πονοκεφάλους, κόπωση των ματιών, κακή συγκέντρωση, δυσκολία να θυμηθούν τι έχει διαβαστεί, παράλειψη λέξεων και γραμμών κατά την ανάγνωση (Kelly & Phillips, 2016), εξηγώντας, κατά αυτόν τον τρόπο, και τη μειωμένη επίδοση στην αντίστοιχη δοκιμασία της οπτικής αναγνώρισης.

Ενδιαφέρον εύρημα αποτελεί και η υπο-ενεργοποίηση η οποία καταγράφηκε στους φοιτητές με δυσλεξία στον ρυθμό β (β1 και β2) στη βρεγματική περιοχή τόσο του δεξιού όσο και του αριστερού ημισφαιρίου, αντίστοιχα. Ο αριστερός βρεγματικός λοβός θεωρείται ότι συμμετέχει στον μετασχηματισμό γραφήματος σε φώνημα (Bitan et al., 2007), και επίσης αποτελεί τη γέφυρα των φωνολογικών και αρθρωτικών αναπαραστάσεων (Kaneko et al., 1998). Παρόμοια ευρήματα υπο-ενεργοποίησης στον αριστερό βρεγματικό λοβό αναφέρθηκαν και σε αντίστοιχες έρευνες σε παιδιά με δυσλεξία κατά τη διάρκεια δοκιμασιών φωνολογικής ενημερότητας (Paulesu et al., 2001; Temple et al., 2001; Shaywitz

et al., 2002). Περαιτέρω, οι διαφορές στις βρεγματο-ινιακές περιοχές οι οποίες ενοπίστηκαν στην παρούσα μελέτη, συμφωνούν με ευρήματα αντίστοιχων μελετών EEG μεταξύ ατόμων με δυσλεξία και ομάδων ελέγχου (Araújo et al., 2016).

Θα πρέπει ωστόσο, να διευκρινιστεί ότι το έλλειμμα που παρουσιάζεται δεν συνιστά οπτική δυσλειτουργία, καθώς όπως έχει διαφανεί (Ziegler et al., 2010) σε έρευνα κατά την οποία χορηγήθηκαν οπτικές δοκιμασίες που περιείχαν γράμματα, ψηφία και σύμβολα, μόνο στις δύο πρώτες εμφανίστηκαν ελλείμματα. Ενδεχομένως, τα γράμματα και τα ψηφία αποτελούν προϊόν επεξεργασίας από το οπτικό σύστημα, το οποίο είναι υπεύθυνο για την ανάγνωση ακολουθιών γραμμάτων σε σύνολα-λέξεις και τοποθετείται στο αριστερό ημισφαίριο, ανάμεσα στον ινιακό και βρεγματικό λοβό. Η συγκεκριμένη περιοχή θεωρείται μη λειτουργική για τα άτομα με δυσλεξία (Heim & Keil, 2004). Επιπρόσθετα, θα μπορούσε να δοθεί και επιμέρους εξήγηση, κατά την οποία τα γράμματα και τα ψηφία επηρεάζονται, καθώς μόνο αυτά μετατρέπονται σε φωνολογικούς κώδικες, με αποτέλεσμα να δημιουργείται έλλειμμα στη μετατροπή οπτικών ερεθισμάτων σε φωνολογικούς κώδικες (Provazza et al., 2019).

5.1.4 3^η πειραματική συνθήκη – Οπτική Αναγνώριση με παρουσία μουσικής υπόκρουσης

Η τρίτη πειραματική συνθήκη αποτελεί μία «συνέχεια» της δεύτερης συνθήκης, κατά την οποία ωστόσο, η αξιολόγηση της οπτικής αναγνώρισης σε επίπεδο λέξεων πραγματοποιήθηκε με την ταυτόχρονη παρουσία μουσικής υπόκρουσης (για εκτενή περιγραφή βλ. 3^ο Κεφάλαιο Μεθοδολογία, 3.6 Πειραματικές συνθήκες διεξαγωγής της έρευνας). Η μελέτη μουσικού ερεθίσματος κατά τη διαδικασία οπτικής αναγνώρισης κρίθηκε σκόπιμη προκειμένου να αξιολογηθεί ο βαθμός επίδρασής του στην οπτική αναγνώριση λέξεων σε ενήλικες με δυσλεξία.

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι η μελέτη σε αυτό το πεδίο έρευνας βρίσκεται ακόμα σε πολύ αρχικό στάδιο, με αντιφατικά και αντικρουόμενα ευρήματα (Furnham & Bradley, 1997; Burkhard et al., 2018). Η επιλογή του είδους του μουσικού ερεθίσματος κατά τη διάρκεια της δοκιμασίας (Sonata for Two Pianos στο D major, K. 448, έργο του Mozart, 1781) βασίστηκε

στα αποτελέσματα βιβλιογραφικής αναζήτησης, σύμφωνα με τα οποία υπάρχουν περισσότερα οφέλη στην ακρόαση της κλασικής μουσικής, φαινόμενο γνωστό ως Mozart effect, (Jenkins, 2001) σε σχέση με άλλους τύπους μουσικής στη μάθηση (Holmes, 2019). Ωστόσο, οι περισσότερες από τις αναφορές αυτές (Rauscher et al., 1993) παρουσιάζουν μόνο την επίδραση της μουσικής Mozart σε ενήλικο πληθυσμό (Lin et al., 2011; Cacciafesta et al., 2010), χωρίς να διερευνούν την επίδραση του Mozart effect στο Κεντρικό Νευρικό Σύστημα μέσω της καταγραφής σημάτων EEG σε δοκιμασίες φωνολογικού ή / και μορφολογικού χαρακτήρα σε ενήλικες με δυσλεξία.

Τα ευρήματα της παρούσας έρευνας ανέδειξαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου, εύρημα το οποίο συμφωνεί με μελέτες οι οποίες ανέδειξαν ότι η επεξεργασία της μουσικής αντίληψης και της μελωδίας λαμβάνει χώρα σε μεγάλο ποσοστό στο δεξιό ημισφαίριο (Santosa et al., 2014). Στη συγκεκριμένη έρευνα το 75% της μουσικής επεξεργασίας συνέβαινε στο δεξιό ημισφαίριο, ενώ όταν παρενέβαιναν τεχνητοί ήχοι θορύβου, το ποσοστό μειωνόταν. Ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα της έρευνας αποτέλεσε η ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος και τεχνητού θορύβου σε παρόμοια ένταση, όπου το ποσοστό της δεξιάς πλευρίωσης ανερχόταν ξανά στο 75%, φανερώνοντας την προσπάθεια των συμμετεχόντων να ακούσουν την μουσική και να απομονώσουν τον τεχνητό θόρυβο.

Στην παρούσα έρευνα χαρακτηριστικό εύρημα αποτελεί η μεγαλύτερη ενεργοποίηση των ρυθμών α (α1 και α2) στους φοιτητές με δυσλεξία στη δεξιά μετωπιαία, κροταφική και βρεγματική περιοχή. Το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίθεση με την έρευνα των Lin et al., (2014) με ενήλικες τυπικής ανάπτυξης όπου εξετάστηκαν τα φασματικά χαρακτηριστικά πριν, κατά τη διάρκεια μουσικής ακρόασης (Mozart K.448), και μετά την ακρόαση μουσικής, και βρέθηκε ότι ο ρυθμός α μειωνόταν σημαντικά στη συνθήκη μουσικής ακρόασης. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο ρυθμός α θεωρείται ως ένας ευαίσθητος δείκτης φλοιώδους δραστηριότητας, ο οποίος εμφανίζεται κάθε φορά που ένα άτομο είναι σε εγρήγορση (είναι δείκτης εγρήγορσης και ύπνου) (Klimesch, 1999), διαφαίνεται ότι η παρουσία του μουσικού ερεθίσματος παίζει καθοριστικό ρόλο στη μεγαλύτερη ενεργοποίηση του ρυθμού α στους φοιτητές με δυσλεξία, καθώς προσπαθούν να ανταπεξέλθουν στις γνωστικές απαιτήσεις της δοκιμασίας. Παράλληλα, η χαμηλότερη ενεργοποίηση του ρυθμού δ στη βρεγματική

περιοχή, πιθανώς καταδεικνύει τη συμβολή της συγκεκριμένης μουσικής ακρόασης του Mozart K.448 στην επαγρύπνηση και στη γνωστική λειτουργία και διεγέρση της εγκεφαλικής λειτουργίας (Lin et al., 2014).

5.1.5 Σύγκριση πειραματικών συνθηκών ως προς την ενεργοποίηση ρυθμών και επιδόσεων στις δοκιμασίες

Το τελευταίο στάδιο στατιστικών αναλύσεων πραγματοποιήθηκε μόνο στην ομάδα των φοιτητών με δυσλεξία και αφορούσε στη σύγκριση ενεργοποίησης εγκεφαλικών ρυθμών σε περιοχές ενδιαφέροντος, καθώς και στην επίδοση των φοιτητών στις δοκιμασίες σε κάθε πειραματική συνθήκη. Η συσχέτιση των μέσων όρων ανέδειξε στατιστικά σημαντικές διαφορές τόσο σε περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου, όπως την κροταφική και τη βρεγματική, όσο και του αριστερού ημισφαιρίου στην κροταφική και την ινιακή περιοχή. Αυτή η ποικιλομορφία των περιοχών πιθανά αντανάκλα σύνθετες μορφές δυσλειτουργίας ενός συνόλου νευρωνικών δικτύων των περιοχών που συμμετέχουν είτε στη φωνολογική είτε στη μορφολογική επεξεργασία λέξεων από άτομα με δυσλεξία. Παρόμοια ευρήματα συναντά κανείς σε μελέτες που παρέχουν νευροβιολογικές ενδείξεις υποκείμενης διαταραχής του νευρικού συστήματος στις οπίσθιες περιοχές του εγκεφάλου, συμπεριλαμβανομένων της βρεγματο-κροταφικής περιοχής και της κροταφο-ινιακής περιοχής (Shaywitz et al., 2002). Οι άτυπες αυτές ανωμαλίες στην αριστερή κροταφο-ινιακή περιοχή του εγκεφάλου μπορεί να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην αναγνώριση των λέξεων και στην ολοκλήρωση των φωνολογικών διεργασιών (Kita et al., 2013), καθώς και να υποστηρίξουν την εξασθενημένη φωνολογική ενημερότητα σε άτομα με δυσλεξία (Zakoroulou et al., 2019).

Αναφορικά με την ενεργοποίηση των ρυθμών στις διαφορετικές πειραματικές συνθήκες, καταγράφηκε υψηλότερη ενεργοποίηση των ρυθμών β (β_1 και β_2) και γ στην οπτική αναγνώριση λέξεων με παρουσία μουσικής υπόκρουσης, και υψηλότερη ενεργοποίηση του ρυθμού δ στη συνθήκη της ακουστικής διάκρισης λέξεων.

Το μοτίβο της υψηλότερης ενεργοποίησης του ρυθμού β στην 3^η συνθήκη σε όλες τις εγκεφαλικές περιοχές, έρχεται σε αντίθεση με ευρήματα αντίστοιχων μελετών στις οποίες χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μουσικό απόσπασμα του Mozart (Lin et al., 2014). Πιθανή εξήγηση

αποτελεί, αφενός, το γεγονός ότι το δείγμα της έρευνας των Lin et al., αποτελούσαν ενήλικες τυπικής ανάπτυξης, και αφετέρου, ότι στη συγκεκριμένη δοκιμασία της παρούσας μελέτης οι φοιτητές απαιτήθηκε να επεξεργαστούν οπτικά ερεθίσματα αναγνώρισης λέξεων.

Επίσης, η αυξημένη ενεργοποίηση του ρυθμού γ στην 3^η συνθήκη σε σύγκριση με τις άλλες δύο συνθήκες, πιθανά ερμηνεύεται από το γεγονός ότι ο ρυθμός γ αντανακλά τον σχηματισμό ενός δικτύου από διαφορετικές ομάδες νευρώνων με σκοπό την εκτέλεση μιας γνωσιακής ή κινητικής λειτουργίας, και εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης και σκέψης (Giraud & Poeppel, 2012). Ο ρυθμός γ παίζει ρόλο στην τμηματοποίηση της ροής ήχου σε μονάδες αντίστοιχων μεγεθών, οι οποίες αναλύονται σε φωνήματα στον αριστερό ακουστικό φλοιό, ενώ οι συλλαβές και τα προσωδιακά ερεθίσματα αναλύονται από τον δεξιό φλοιό (περίπου 25 και 200 ms, αντίστοιχα). Ενώ αυτή η υπόθεση έχει υποστηριχθεί από νευροαπεικονιστικές και νευροφυσιολογικές μελέτες (Giraud et al., 2005; Abrams et al., 2008; Telkemeyer et al., 2009; Morillon et al., 2010), η επαλήθευσή της σε άτομα με δυσλεξία δεν είναι ιδιαίτερα σαφής. Για παράδειγμα, οι Giraud και Poeppel (2012) έχουν υποθέσει ότι τα άτομα με δυσλεξία ενδέχεται να μην εμφανίζουν την τυπική εξειδίκευση του αριστερού ημισφαιρίου αναφορικά με τον ρυθμό γ, εύρημα που θα εξηγούσε τις συγκεκριμένες δυσκολίες τους με την επεξεργασία φωνητικών μονάδων. Φαίνεται λοιπόν, ότι η παρουσία του μουσικού ερεθίσματος ενεργοποιεί τον ρυθμό γ σε μεγαλύτερο βαθμό από ό,τι στις άλλες δύο συνθήκες, συμβάλλοντας ευεργετικά στην επίδοση της οπτικής αναγνώρισης λέξεων.

Τέλος, ιδιαίτερα σημαντικό εύρημα αποτελεί η καταγραφή της επίδοσης των φοιτητών με δυσλεξία στις τρεις επιμέρους συνθήκες, όπου οι μεγαλύτερες βαθμολογίες σημειώνονται στη συνθήκη όπου υπάρχει παρουσία μουσικού ερεθίσματος (με πολύ μικρή έως ελάχιστη διαφορά από τη 2^η συνθήκη), ενώ οι μικρότερες βαθμολογίες σημειώνονται στην 1^η συνθήκη, αυτή της ακουστικής διάκρισης. Πρόκειται για ένα αξιοσημείωτο εύρημα, το οποίο αναδεικνύει τον ευεργετικό ή τουλάχιστον όχι διασπαστικό ρόλο που μπορεί να διαδραματίσει η παρουσία μουσικής υπόκρουσης. Εύρημα το οποίο συμφωνεί με ευρήματα ερευνών, οι οποίες μελέτησαν και βρήκαν θετική συσχέτιση ανάμεσα στην παρουσία μουσικής και σε γνωστικές δοκιμασίες (Burkhard et al., 2018; Jaušovec et al., 2006; Rauscher et al., 1993).

5.2 Περιορισμοί της έρευνας

Στο σημείο αυτό κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό να επισημανθεί ότι η παρούσα έρευνα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς, γεγονός που καθιστά επιφυλακτική τη γενίκευση των αποτελεσμάτων. Ειδικότερα, ένας βασικός περιορισμός είναι το σχετικά μικρό δείγμα των συμμετεχόντων που αποτελούσαν τις δύο ερευνητικές ομάδες (12 φοιτητές με δυσλεξία και 14 φοιτητές ομάδας ελέγχου). Θα πρέπει βεβαίως να σημειωθεί ότι σε ιατρικές και εκπαιδευτικές έρευνες ο αριθμός των υποκειμένων είναι περιορισμένος (Βάμβουκας, 1998; Παρασκευόπουλος, 1993), είτε αυτές εξετάζουν ενήλικες με δυσλεξία (Simmons & Singleton 2000), είτε ερευνούν την επίδραση μουσικού παράγοντα (Hu et al., 2019), είτε αναλύουν ενεργοποίηση εγκεφάλου μέσω καταγραφών σημάτων EEG (Frid & Breznitz, 2012). Επομένως, το μικρό δείγμα ενδεχομένως να θέτει περιορισμούς στη γενίκευση των αποτελεσμάτων, ωστόσο δεν υποβαθμίζει την σημαντικότητά τους, καθώς αυτά προκύπτουν από μία σύνθετη μορφή αναλύσεων πολλαπλών μεταβλητών. Ταυτόχρονα, δίνουν το έναυσμα στους ερευνητές για τη χορήγηση της έρευνας και σε μεγαλύτερο δείγμα.

Ένας επιπρόσθετος περιορισμός αναφορικά με την κατηγοριοποίηση του δείγματος στους φοιτητές με δυσλεξία και στην ομάδα ελέγχου, είναι ότι δεν πραγματοποιήθηκε διαγνωστικός έλεγχος για την εξακρίβωση της διαταραχής, αλλά ζητήθηκε η διάγνωση από επίσημο δημόσιο φορέα που πιστοποιούσε τη διαταραχή. Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η ταξινόμηση που πραγματοποιήθηκε παρείχε αρκετά υψηλά αποτελέσματα Ακρίβειας στη διαμόρφωση προφίλ ατόμων με διακριτά χαρακτηριστικά δυσλεξίας από ομάδα ατόμων χωρίς χαρακτηριστικά δυσλεξίας.

Ένας επιπλέον περιορισμός της έρευνας σχετιζόταν με την καταγραφή σημάτων EEG μέσω της συσκευής Emotiv EPOC+, και αφορούσε στην απώλεια συνδεσιμότητας κυρίως του ηλεκτροδίου F8, και της απόρριψης του αντίστοιχου καναλιού F7 για τη διατήρηση της συμμετρίας της εγγραφής. Αν και η συνδεσιμότητα ελεγχόταν τακτικά τόσο στην αρχή όσο και κατά τη διάρκεια της καταγραφής, οι χωρικές πληροφορίες έπρεπε να μειωθούν. Ωστόσο, τα αποτελέσματα της ταξινόμησης έδειξαν ότι ακόμη και με έναν αρκετά μικρό αριθμό καναλιών, η ακρίβεια παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα. Επιπρόσθετα, η απουσία

καταγραφής σημάτων κατά τη διάρκεια κατάστασης ηρεμίας, θα προσέθετε μία ακόμα πειραματική συνθήκη, η οποία ενδεχομένως να επέφερε κόπωση στους συμμετέχοντες με αποτέλεσμα να διακυβεύεται η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι αν και το θεωρητικό πλαίσιο του μεγαλοκυτταρικού συστήματος αναφέρεται σε ακουστικά, οπτικά, μορφολογικά ελλείμματα και ελλείμματα της παρεγκεφαλίδας, δεν κατέστη δυνατή η συλλογή και ανάλυση νευροαπεικονιστικών δεδομένων στην παρεγκεφαλίδα μέσω χρησιμοποίησης μεθόδου MRI, δεδομένα τα οποία θα μπορούσαν ενδεχομένως να ενισχύσουν τα ευρήματα της παρούσας έρευνας. Η επιλογή καταγραφής σημάτων με ηλεκτροεγκεφαλογράφημα μέσω της πρωτοποριακής, και κυρίως μη επεμβατικής μεθόδου λειτουργικής απεικόνισης του εγκεφάλου Emotiv EPOC+, έδωσε τη δυνατότητα να αξιολογηθεί η αποτελεσματικότητα της συσκευής σε ενήλικο πληθυσμό.

5.3 Γενική Συζήτηση

Στην παρούσα μελέτη επιχειρήθηκε να εξεταστούν και να αναλυθούν συνδυαστικά οι παράγοντες της εγκεφαλικής δραστηριότητας, της επίδοσης σε δοκιμασίες φωνολογικής και μορφολογικής ενημερότητας και της επίδρασης μουσικού ερεθίσματος στη μορφολογική ενημερότητα, σε πληθυσμό ενηλίκων με δυσλεξία.

Τα αποτελέσματα της μελέτης, επιβεβαιώνουν την ετερογένεια της ενεργοποίησης των ρυθμών σε διαφορετικές περιοχές (Perrachione et al., 2016) μεταξύ των δύο ομάδων. Ιδιαίτερα στους φοιτητές με δυσλεξία, η ασυμμετρία της δραστηριοποίησης εγκεφαλικών ρυθμών σε διαφορετικές εγκεφαλικές περιοχές είναι ακόμα πιο διακριτή. Οι ενήλικες με δυσλεξία (οι οποίοι στην παρούσα μελέτη φοιτούσαν σε Σχολή Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης) μπορεί να αποτελούν μία περισσότερο ετερογενή ομάδα από τα παιδιά με δυσλεξία (ομάδα που θεωρείται ήδη αρκετά ετερογενής, Protopapas, 2014), καθώς οι φοιτητές-μέσα της συνεχούς τους έκθεσης σε διαδικασίες μάθησης- μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους προκειμένου να αντισταθμίσουν τις δυσκολίες τους. Μια πιθανή στρατηγική αντιστάθμισης προτάθηκε από τους Cavalli et al., (2017), οι οποίοι ανέφεραν ότι οι φοιτητές με δυσλεξία έδειξαν επίμονη φωνολογική δυσλειτουργία, αλλά άθικτες μορφολογικές δεξιότητες σε σύγκριση με την ομάδα ελέγχου. Οι συγγραφείς πρότειναν ότι μπορούν να

χρησιμοποιηθούν οι μορφολογικές δεξιότητες για την αντιστάθμιση μειωμένων φωνολογικών δεξιοτήτων, μια πρόταση που υποστηρίζεται από τη συσχέτιση μεταξύ του αναγνωστικού επιπέδου και της διαφοράς μεταξύ φωνολογικών και μορφολογικών δεξιοτήτων στους φοιτητές με δυσλεξία.

Επιπρόσθετα, εξετάστηκε ο ρόλος της μουσικής υπόκρουσης (μουσικό απόσπασμα από Mozart) σε γνωστική δοκιμασία οπτικής αναγνώρισης σε επίπεδο λέξεων, ο οποίος βρέθηκε ότι λειτούργησε ευεργετικά ή τουλάχιστον όχι διασπαστικά στην επίδοση των συμμετεχόντων σε αυτήν τη δοκιμασία. Οι Rauscher et al., (1993), εξηγώντας τη θετική επίδραση της μουσικής στην επίδοση σε γνωστικές δοκιμασίες, θεωρούν ότι η σχέση μεταξύ μουσικής ακρόασης και χωρο-χρονικής αντίληψης ενισχύεται από ομοιότητες στη νευρωνική ενεργοποίηση (Shaw, Silverman, & Pearson, 1985; McGrann et al., 1994). Η μουσική λειτουργεί ως εργαλείο διέγερσης σε μία διαδοχική ροή φλοιωδών μοτίβων, τα οποία είναι υπεύθυνα για τις ανώτερες εγκεφαλικές λειτουργίες. Επίσης, η πολυπλοκότητα της μουσικής φαίνεται να επηρεάζει την επίδοση, όπου η αυξημένη μουσική πολυπλοκότητα ενδέχεται να οδηγήσει σε μειωμένη επίδοση συγκριτικά με τη λιγότερο περίπλοκη μουσική (Aghajani, 2019). Ωστόσο, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, το συγκεκριμένο μουσικό απόσπασμα του Mozart αποτελείται από μουσικά στοιχεία τα οποία δεν εκλαμβάνονται ως σύνθετα από άτομα με δυσλεξία.

Κρίνεται ιδιαίτερα σημαντικό να τονιστεί ότι η αντίληψη της μουσικής οδηγεί σε προσαρμοστική εγκεφαλική πλαστικότητα των ίδιων νευρωνικών δικτύων που εμπλέκονται στην επεξεργασία της ομιλίας (Patel, 2011), οπότε η μουσική διέγερση θα μπορούσε να λειτουργήσει ενισχυτικά ως προς τα ελλείμματα που αντιμετωπίζουν άτομα με δυσλεξία (Flaugnacco et al., 2015). Η μουσική προκαλεί σημαντικές αλλαγές νευροπλαστικότητας σε φλοιικές και υποφλοιικές περιοχές του εγκεφάλου και κυρίως, αυτών που σχετίζονται με την ακουστική επεξεργασία, την κίνηση και την επεξεργασία της ομιλίας (François et al., 2015). Εξαιτίας της μοναδικής ιδιότητας της πλαστικότητας του ανθρωπίνου εγκεφάλου είναι δυνατό να παρακάμπτονται περιοχές όπου οι νευρικές οδοί έχουν διακοπεί από κάποια βλάβη και να αναδιατάσσονται τα κύτταρα και οι μεταξύ τους συνδέσεις. Παρόλο που η μεγάλη πλαστικότητα θεωρείται προνόμιο της βρεφικής και παιδικής ηλικίας, εν τούτοις η εξέλιξη και η αναδιάταξη του εγκεφάλου εξακολουθούν σε

όλη τη διάρκεια της ζωής του ανθρώπου, επιβεβαιώνοντας ότι οι εμπειρίες αποτελούν την κινητήρια δύναμη για την αδιάλειπτη ανακατασκευή και αναδιοργάνωση του εγκεφάλου μας (Νησιώτου, 2011). Κατά συνέπεια, κρίνεται σκόπιμο να μελετηθεί και ο παράγοντας της μουσικής εκπαίδευσης, ο οποίος θα μπορούσε να συμβάλει σε σημαντικές αλλαγές αναδιάρθρωσης της δομής και της λειτουργικότητας του εγκεφάλου.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, η ετερογενής καταγραφή μορφών ενεργοποίησης ρυθμών σε ένα εύρος ποικίλων περιοχών του εγκεφάλου, κατά τη διάρκεια δοκιμασιών ακουστικής και οπτικής αναγνώρισης λέξεων από ενήλικες με δυσλεξία, αναδεικνύει την αναγκαιότητα της πολυπαραγοντικής προσέγγισης της δυσλεξίας είτε σε επίπεδο διάγνωσης είτε σε επίπεδο παρέμβασης, ακόμη και σε ενήλικα άτομα με δυσλεξία, επιβεβαιώνοντας την κύρια ερμηνευτική θεωρητική αρχή της θεωρίας του μεγαλοκυτταρικού συστήματος (Marogna, 2012).

Πιο συγκεκριμένα, η ανάδειξη αποκλίσεων στην ενεργοποίηση των ρυθμών δ, θ, β (β1 και β2) και γ στον ινιακό και βρεγματικό λοβό αντίστοιχα, κατά την οπτική διάκριση ενισχύει τη δυσλειτουργία του μεγαλοκυτταρικού συστήματος στην οπτική επεξεργασία σε άτομα με δυσλεξία (Ramus, 2004).

Ανάλογα, οι αποκλίσεις στην ενεργοποίηση των ρυθμών β2 και γ στον κροταφικό λοβό ενισχύουν τις απόψεις ότι οι δυσκολίες ακουστικής διάκρισης και αναγνώρισης και οι φωνολογικές δυσκολίες τις οποίες αντιμετωπίζουν τα άτομα με δυσλεξία οφείλονται σε ελλείμματα στην περιοχή του αριστερού κροταφικού λοβού (Fostick & Ram-Tsur, 2012; Richardson, Thomson, Scott & Goswami, 2004). Κατ' επέκταση, έρχονται να ενισχύσουν την άποψη ερευνητών ότι υπάρχει ισχυρή αλληλεπίδραση μεταξύ των ελλειμάτων στον κροταφικό, βρεγματικό και ινιακό λοβό, και η οποία επιτρέπει την ερμηνεία των δυσκολιών φωνολογικής και μορφολογικής επεξεργασίας των γραπτών πληροφοριών από άτομα με δυσλεξία, ακόμη και κατά την ενήλικη ζωή (Prestes & Feitosa, 2016; Stein & Kapoula, 2012).

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ιστορικό: Η δυσλεξία είναι μια από τις πιο συχνές ειδικές μαθησιακές διαταραχές που επηρεάζουν περισσότερο από το 15% του πληθυσμού παιδιών σχολικής ηλικίας. Συχνά έχει συσχετιστεί με ελλείμματα στη φωνολογική ενημερότητα που προκαλούνται κυρίως από ακουστικές και οπτικές αδυναμίες να αναγνωρίσουν και να διακρίνουν φωνήματα και γραφήματα μέσα σε λέξεις. Τεχνικές νευροαπεικόνισης όπως καταγραφές EEG έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την εκτίμηση των ημισφαιρικών διαφορών στην ενεργοποίηση του εγκεφάλου μεταξύ ατόμων με και χωρίς δυσλεξία. Αν και η δυσλεξία είναι μία διά βίου διαταραχή που υφίσταται έως την ενηλικίωση, πολύ λίγες μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο τον ενήλικο πληθυσμό.

Μέθοδος: Σε αυτήν τη μελέτη, εξετάστηκαν οι διαφορές ενεργοποίησης του εγκεφάλου μεταξύ 12 τυπικών (ομάδα ελέγχου) και 14 φοιτητών με δυσλεξία (πειραματική ομάδα) που σπουδάζουν στη Σχολή Επιστημών Υγείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν σε τρεις διαφορετικές δοκιμασίες σε επίπεδο λέξεων, όπως ακουστική διάκριση, οπτική αναγνώριση, και οπτική αναγνώριση με ταυτόχρονη παρουσία μουσικού ερεθίσματος. Το γλωσσικό υλικό το οποίο επελέγη για το σκοπό της έρευνας, αποτελείτο από 50 ομάδες 3 λέξεων οι οποίες χαρακτηρίζονται από διαφορετικό βαθμό ακουστικής και οπτικής διακριτικότητας. Η όλη πειραματική διαδικασία καταγράφηκε με μια φορητή συσκευή EEG 14 αισθητήρων (Emotiv EPOC+), η οποία είναι μια από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες αισθητηριακές συσκευές EEG. Τα φασματικά χαρακτηριστικά που εξήχθησαν για τον κάθε ρυθμό EEG (δ , θ , $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\beta 1$, $\beta 2$, και γ), χρησιμοποιήθηκαν για την εκπαίδευση ενός ταξινομητή Τυχαίων Δασών, με στόχο τον εντοπισμό διακριτών χαρακτηριστικών δυσλεξίας σε διαφορετικές περιοχές του εγκεφάλου.

Αποτελέσματα: Η προτεινόμενη μεθοδολογία ανέδειξε στατιστικά σημαντικά αποτελέσματα στην ανίχνευση της ομάδας ενηλίκων με δυσλεξία. Κατεγράφησαν υψηλά επίπεδα ακρίβειας, ευαισθησίας και εξειδίκευσης (άνω του 95%) στην περιοχή ολόκληρου του εγκεφάλου, καθώς και στην περιοχή του αριστερού και του δεξιού ημισφαιρίου. Επίσης, τα πιο χαρακτηριστικά ευρήματα στις τρεις πειραματικές συνθήκες σε σχέση με τους εγκεφαλικούς ρυθμούς φανέρωσαν μία ετερογένεια αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, στη

δοκιμασία ακουστικής διάκρισης βρέθηκαν σημαντικές διαφορές τόσο στον αριστερό κροταφικό λοβό όσο και στον ινιακό στους ρυθμούς β, γ, και δ με τους φοιτητές με δυσλεξία να σημειώνουν υψηλότερο μέσο όρο μόνο στον ρυθμό δ στον αριστερό κροταφικό λοβό. Όσον αφορά τη δοκιμασία οπτικής αναγνώρισης, εμφανίστηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στον αριστερό κροταφικό λοβό στους ρυθμούς β και γ, και στον ινιακό λοβό στους ρυθμούς α, β, και δ με τους φοιτητές με δυσλεξία να σημειώνουν υψηλότερο μέσο όρο μόνο στον ρυθμό δ του αριστερού και του δεξιού ινιακού λοβού. Στη δοκιμασία οπτικής αναγνώρισης με παρουσία μουσικού ερεθίσματος, παρατηρήθηκαν στατιστικά σημαντικές διαφορές στους ρυθμούς α1 και α2 σε διαφορετικές περιοχές του δεξιού ημισφαιρίου, με τους φοιτητές με δυσλεξία να σημειώνουν υψηλότερη ενεργοποίηση σε όλους τους ρυθμούς του δεξιού ημισφαιρίου.

Ευρήματα: Αυτή είναι η πρώτη μελέτη που εξετάζει μια ποικιλία ποσοτικών χαρακτηριστικών EEG που λαμβάνονται από μια φορητή συσκευή Brain Computer Interface (BCI) σε διαφορετικές πειραματικές συνθήκες με υψηλή ακρίβεια ταξινόμησης που οδηγεί σε σωστή διάκριση μεταξύ φοιτητών με και χωρίς δυσλεξία. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης δείχνουν ότι υπάρχουν διαφορές στην ημισφαιρική ενεργοποίηση του εγκεφάλου των φοιτητών με ή χωρίς δυσλεξία σε διάφορους ρυθμούς σε όλες τις πειραματικές συνθήκες, φανερώνοντας νευροφυσιολογικές αποκλίσεις μεταξύ των δύο ομάδων.

Συμπεράσματα: Η ετερογενής καταγραφή μορφών ενεργοποίησης ρυθμών σε ένα εύρος ποικίλων περιοχών του εγκεφάλου κατά τη διάρκεια δοκιμασιών ακουστικής και οπτικής αναγνώρισης λέξεων από ενήλικες με δυσλεξία, αναδεικνύει την αναγκαιότητα της πολυπαραγοντικής προσέγγισης της δυσλεξίας είτε σε επίπεδο διάγνωσης είτε σε επίπεδο παρέμβασης, ακόμη και σε ενήλικα άτομα με δυσλεξία, επιβεβαιώνοντας την κύρια ερμηνευτική αρχή της θεωρίας του μεγαλοκυτταρικού συστήματος. Μεγάλη έμφαση δίνεται στην αναγκαιότητα διεξαγωγής περισσότερων μελετών σε ενήλικες με δυσλεξία.

Λέξεις-κλειδιά: Αναπτυξιακή δυσλεξία; Μεγαλοκυτταρική θεωρία; Οπτικοακουστική λεκτική αναγνώριση; Ενήλικες με δυσλεξία; Ρυθμοί EEG; Διεπαφή εγκεφάλου-υπολογιστή; Ταξινομητής Τυχαίων Δασών; Emotiv EPOC+

ABSTRACT

Background: Dyslexia is one of the most frequent specific learning disorders affecting more than 15% of school-age children population. It has often been associated with deficits in phonological awareness mainly caused by auditory and visual inabilities to recognize and discriminate phonemes and graphemes within words. Neuroimaging techniques like EEG recordings have been widely used to assess hemispheric differences in brain activation between students with dyslexia and their typical counterparts. Although dyslexia is a lifelong disorder which persists into adulthood, very few studies have been carried out targeting in adult population.

Method: In this study, we examined the brain activation differences between 12 typical (control group) and 14 students with dyslexia (experimental group) all studying in the School of Health Sciences at the University of Ioannina. The participants underwent three different experimental conditions, such as auditory discrimination, visual recognition, and visual recognition with background music. The chosen linguistic material consisted of 50 3-word groups characterized from different degrees of auditory and visual distinctiveness. The whole experimental procedure was recorded with a 14-sensor wearable EEG device (Emotiv EPOC+), which is one of the most widely used sensory EEG devices for lifestyle purposes. Spectral features extracted from each EEG rhythm (δ , θ , α_1 , α_2 , β_1 , β_2 , and γ) were used to train a Random Forests classifier, aiming to identify quantitative EEG features that characterize dyslexia in different brain regions.

Results: The proposed EEG-based methodology showed significant results in the detection of the group of adults with dyslexia. High levels of accuracy, sensitivity and specificity (above 95%) were acquired for the entire brain, as well as the left and right hemisphere. Furthermore, the most representative findings in the three experimental conditions in relation to brain rhythms revealed a heterogeneity of results. More specifically, in the auditory discrimination task, significant differences were found in both the left temporal lobe and the occipital lobe in rhythms β , γ , and δ with students with dyslexia scoring a higher average only in rhythm δ in the left temporal lobe. Regarding the visual recognition task, there were statistically significant differences in the left temporal lobe in rhythms β and γ , and in

the occipital lobe in rhythms α , β , and δ with students with dyslexia scoring higher on average only in rhythm δ of the left and right occipital lobe. In the visual recognition task with background music, statistically significant differences were observed in the rhythms α_1 and α_2 in different areas of the right hemisphere, with students with dyslexia showing higher activation at all rhythms of the right hemisphere.

Findings: This is the first report examining a variety of quantitative EEG features obtained from a wearable BCI device over different experimental conditions with a high classification accuracy that results in correct discrimination between higher education students with and without dyslexia. The results of the analysis indicate that there are differences in the hemispheric brain activation of students with or without dyslexia in various rhythms in all the experimental conditions, thus, shedding light in the neurophysiological discrepancies between the two groups.

Conclusions: The rhythm heterogeneity recorded in activation patterns in a range of different brain areas, during audiovisual word recognition tasks by adults with dyslexia, highlights the need for a multifactorial approach to dyslexia at the diagnostic and / or intervention level, even at an adult population with dyslexia, confirming the main interpretive principle of the magnocellular theory.

Keywords: *Developmental Dyslexia; Magnocellular theory; Audiovisual word recognition Adults with Dyslexia; EEG rhythms; Brain Computer Interface; Random Forests Classifier; Emotiv EPOC+*

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abrams, D. A., Nicol, T., Zecker, S., & Kraus, N. (2009). Abnormal cortical processing of the syllable rate of speech in poor readers. *Journal of Neuroscience*, 29, 7686-7693.
- Abrams, D. A., Nicol, T., Zecker, S., & Kraus, N. (2009). Abnormal cortical processing of the syllable rate of speech in poor readers. *Journal of Neuroscience*, 29, 7686-7693.
- Abrams, D. A., Nicol, T., Zecker, S., & Kraus, N. (2008). Right-hemisphere auditory cortex is dominant for coding syllable patterns in speech. *Journal of Neuroscience*, 28, 3958-3965.
- Adams, O., & McNair, M. (2018). Noise and Neurons: Effects of Background Music on Reading Comprehension. *International Summit*, 142.
- Adelman, J. S. (2012). *Visual Word Recognition Volume 2: Meaning and Context, Individuals and Development*. London and New York: Psychology Press.
- Aghajani, M. (2019). The Effect of Background Music on Reading Comprehension Regarding Extroverts/Introverts Personality Dimensions. *Contemporary Research in Education and English Language Teaching.*, 1(2), σσ. 19-24.
- Alexander, J., Firouzbakht, P.K., Glennon, L., & Lang, M. (2012). Effects of music type on reading comprehension performance and other physiological factors.
- Alves, L. M., Reis, C. A. D. C., Pinheiro, Â. M. V., & Capellini, S. A. (2009). Aspectos prosódicos temporais da leitura de escolares com dislexia do desenvolvimento. *Revista da Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia*, 14(2), 197–204.

- American Psychiatric Association, DSM-5 Task Force. (2013). *Diagnostic and statistical manual of mental disorders: DSM-5™* (5th ed.). American Psychiatric Publishing, Inc.. <https://doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- 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. <https://doi.org/10.1177/002221940103400102>
- Andin, J., Fransson, P., Rönnerberg, J., & Rudner, M. (2015). Phonology and arithmetic in the language-calculation network. *Brain and language*, 143, 97–105. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2015.02.004>
- Andreadis, I. I., Giannakakis, G. A., Papageorgiou, C., & Nikita, K. S. (2009, September). Detecting complexity abnormalities in dyslexia measuring approximate entropy of electroencephalographic signals. In *2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society* (pp. 6292-6295). IEEE.
- Andrews, W., Liapi, A., Plachez, C., Camurri, L., Zhang, J., Mori, S., Murakami, F., Parnavelas, J. G., Sundaresan, V., & Richards, L. J. (2006). Robo1 regulates the development of major axon tracts and interneuron migration in the forebrain. *Development (Cambridge, England)*, 133(11), 2243–2252. <https://doi.org/10.1242/dev.02379>
- Ansari, D. (2010). Neurocognitive approaches to developmental disorders of numerical and mathematical cognition: The perils of neglecting the role of development. *Learning and Individual Differences*, 20(2), 123–129. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2009.06.001>
- Anthoni, H., Zucchelli, M., Matsson, H., Müller-Myhsok, B., Fransson, I., Schumacher, J., Massinen, S., Onkamo, P., Warnke, A., Griesemann, H., Hoffmann, P., Nopola-Hemmi, J., Lyytinen, H., Schulte-Körne, G., Kere, J., Nöthen, M. M., & Peyrard-Janvid, M. (2007). A locus on 2p12 containing the co-regulated MRPL19 and C2ORF3 genes is associated to dyslexia. *Human molecular genetics*, 16(6), 667–677. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddm009>

- Araújo, S., Faísca, L., Reis, A., Marques, J. F., & Petersson, K. M. (2016). Visual naming deficits in dyslexia: An ERP investigation of different processing domains. *Neuropsychologia*, 91, 61-76.
- Arns, M., Peters, S., Breteler, R., & Verhoeven, L. (2007). Different brain activation patterns in dyslexic children: evidence from EEG power and coherence patterns for the double-deficit theory of dyslexia. *Journal of Integrative Neuroscience*, 6(1), 175–190. <https://doi.org/10.1142/s0219635207001404>
- Ashkenazi, S., Rosenberg-Lee, M., Tenison, C., & Menon, V. (2012). Weak task-related modulation and stimulus representations during arithmetic problem solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 2(Suppl 1), S152–S166. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2011.09.006>
- Astrom, R. L., Wadsworth, S. J., Olson, R. K., Willcutt, E. G., & DeFries, J. C. (2012). Genetic and environmental etiologies of reading difficulties: DeFries-Fulker analysis of reading performance data from twin pairs and their nontwin siblings. *Learning and individual differences*, 22(3), 365–369. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2012.01.011>
- Asvestopoulou, T., Manousaki, V., Psistakis, A., Smyrnakis, I., Andreadakis, V., Aslanides, I. M., & Papadopouli, M. (2019). Dyslexml: Screening tool for dyslexia using machine learning. *arXiv preprint arXiv:1903.06274*.
- Atterbury, B. W. (1985). Musical differences in learning-disabled and normal-achieving readers, aged seven, eight and nine. *Psychology of Music*, 13(2), σσ. 114-123. doi:10.1177/0305735685132005
- Badcock, N. A., Mousikou, P., Mahajan, Y., De Lissa, P., Thie, J., & McArthur, G. (2013). Validation of the Emotiv EPOC® EEG gaming system for measuring research quality auditory ERPs. *PeerJ*, 1, e38.

- Badcock, N. A., Preece, K. A., de Wit, B., Glenn, K., Fieder, N., Thie, J., & McArthur, G. (2015). Validation of the Emotiv EPOC EEG system for research quality auditory event-related potentials in children. *PeerJ*, 3, e907.
- Baillieux, H., Vandervliet, E. J., Manto, M., Parizel, P. M., De Deyn, P. P., & Marien, P. (2009). Developmental dyslexia and widespread activation across the cerebellar hemispheres. *Brain and language*, 108(2), 122-132.
- Bartelet, D., Vaessen, A., Blomert, L., & Ansari, D. (2014). What basic number processing measures in kindergarten explain unique variability in first-grade arithmetic proficiency?. *Journal of experimental child psychology*, 117, 12–28. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2013.08.010>
- Bates, T. C., Luciano, M., Medland, S. E., Montgomery, G. W., Wright, M. J., & Martin, N. G. (2011). Genetic variance in a component of the language acquisition device: ROBO1 polymorphisms associated with phonological buffer deficits. *Behavior genetics*, 41(1), 50–57. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9402-9>
- Beaton, A. (2004). *Dyslexia, Reading and the Brain: A Sourcebook of Psychological and Biological Research*. London and New York: Psychology Press.
- Benchenane, K., Tiesinga, P. H., & Battaglia, F. P. (2011). Oscillations in the prefrontal cortex: a gateway to memory and attention. *Current opinion in neurobiology*, 21(3), 475–485. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2011.01.004>
- Berninger, V. W., Nielsen, K. H., Abbott, R. D., Wijsman, E., & Raskind, W. (2008). Writing problems in developmental dyslexia: Under-recognized and under-treated. *Journal of school psychology*, 46(1), 1-21.
- Besson, M., Chobert, J., & Marie, C. (2011). Language and Music in the Musician Brain. *Language and Linguistics Compass*, 5(9), 517-634. doi:10.1111/j.1749-818X.2011.00302.x

- Biscaldi, M., Fischer, B., & Hartnegg, K. (2000). Voluntary saccadic control in dyslexia. *Perception*, 29(5), 509–521. <https://doi.org/10.1068/p2666a>
- Bishop D. V. (2015). The interface between genetics and psychology: lessons from developmental dyslexia. *Proceedings. Biological sciences*, 282(1806), 20143139. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.3139>
- Bishop, D. V. M. (2002). Cerebellar abnormalities in developmental dyslexia: Cause, correlate or consequence? *Cortex*, 38, 491–498.
- Bishop, D. V., & Snowling, M. J. (2004). Developmental dyslexia and specific language impairment: Same or different?. *Psychological bulletin*, 130(6), 858.
- Bitan, T., Burman, D. D., Chou, T. L., Lu, D., Cone, N. E., Cao, F., ... & Booth, J. R. (2007). The interaction between orthographic and phonological information in children: an fMRI study. *Human brain mapping*, 28(9), 880-891.
- Bobrov, P., Frolov, A., Cantor, C., Fedulova, I., Bakhnyan, M., & Zhavoronkov, A. (2011). Brain-computer interface based on generation of visual images. *PloS one*, 6(6), e20674.
- Boets, B., de Beeck, H. P. O., Vandermosten, M., Scott, S. K., Gillebert, C. R., Mantini, D., et al. (2013). Intact but less accessible phonetic representations in adults with dyslexia. *Science*, 342(6163), 1251–1254.
- Boets, B., Vandermosten, M., Poelmans, H., Luts, H., Wouters, J., & Ghesquière, P. (2011). Preschool impairments in auditory processing and speech perception uniquely predict future reading problems. *Research in developmental disabilities*, 32, 560-570.
- Boets, B., Wouters, J., van Wieringen, A., De Smedt, B., & Ghesquière, P. (2008). Modelling relations between sensory processing, speech perception, orthographic and phonological ability, and literacy achievement. *Brain and Language*, 106, 29-40.

- Bosch-Bayard, J., Galán-García, L., Fernandez, T., Lirio, R. B., Bringas-Vega, M. L., Roca-Stappung, M., ... & Valdes-Sosa, P. A. (2018). Stable sparse classifiers identify qEEG signatures that predict learning disabilities (NOS) severity. *Frontiers in neuroscience*, *11*, 749.
- Bowers, P. G., & Wolf, M. (1993). Theoretical links among naming speed, precise timing mechanisms and orthographic skill in dyslexia. *Reading and Writing*, *5*(1), 69-85.
- Breznitz, Z. (1997). Effects of accelerated reading rate on memory for text among dyslexic readers. *Journal of Educational Psychology*, *89*(2), 289–297. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.89.2.289>.
- Brown, W., Eliez, S., Menon, V., Rumsey, J., White, C., & Reiss, A. (2001). Preliminary evidence of widespread morphological variations of the brain in dyslexia. *Neurology*, *56*, 781-783.
- Bruck, M. (1990). Word-recognition skills of adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Developmental Psychology*, *26*(3), 439–454. doi: 10.1037/0012-1649.26.3.439.
- Bruck, M. (1992). Persistence of dyslexics' phonological awareness deficits. *Developmental Psychology*, *28*(5), 874–886.
- Bucci, M., Bremond, D., & Kapoula, Z., (2007). Poor binocular coordination of saccades in dyslexic children. *Graefes' Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*. (417–428)
- Buchsbaum, B. R., Hickok, G., & Humphries, C. (2001). Role of left posterior superior temporal gyrus in phonological processing for speech perception and production. *Cognitive science*, *25*(5), 663-678.
- Buchweitz, A., Costa, A. C., Toazza, R., de Moraes, A. B., Cara, V. M., Esper, N. B., ... & Franco, A. R. (2019). Decoupling of the occipitotemporal cortex and the brain's default-mode network in dyslexia and a role for the cingulate cortex in good readers: a brain imaging study of Brazilian children. *Developmental neuropsychology*, *44*(1), 146-157.

- Bugden, S., & Ansari, D. (2016). Probing the nature of deficits in the 'approximate number system' in children with persistent developmental dyscalculia. *Developmental science*, 19(5), 817-833.
- Burbridge, T. J., Wang, Y., Volz, A. J., Peschansky, V. J., Lisann, L., Galaburda, A. M., Lo Turco, J. J., & Rosen, G. D. (2008). Postnatal analysis of the effect of embryonic knockdown and overexpression of candidate dyslexia susceptibility gene homolog Dcdc2 in the rat. *Neuroscience*, 152(3), 723–733.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2008.01.020>
- Burkhard, A., Elmer, S., Kara, D., Brauchli, C., & Jäncke, L. (2018). The Effect of Background Music on Inhibitory Functions: An ERP Study. *Frontiers in human neuroscience*, 12, 293.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00293>
- Butterworth, B., & Kovas, Y. (2013). Understanding neurocognitive developmental disorders can improve education for all. *Science (New York, N.Y.)*, 340(6130), 300–305.
<https://doi.org/10.1126/science.1231022>
- Cacciafesta, M., Ettorre, E., Amici, A., Cicconetti, P., Martinelli, V., Linguanti, A. E. E. A., ... & Marigliano, V. (2010). New frontiers of cognitive rehabilitation in geriatric age: the Mozart Effect (ME). *Archives of gerontology and geriatrics*, 51(3), e79-e82.
- Callens, M., Tops, W., & Brysbaert, M. (2012). Cognitive profile of students who enter higher education with an indication of dyslexia. *PLoS One*, 7(6), e38081.
- Caravolas, M., Lervåg, A., Defior, S., Seidlová Málková, G., & Hulme, C. (2013). Different patterns, but equivalent predictors, of growth in reading in consistent and inconsistent orthographies. *Psychological Science*, 24(8), 1398–1407.
<https://doi.org/10.1177/0956797612473122>

- Carawan, L. W., Nalavany, B. A., & Jenkins, C. (2016). Emotional experience with dyslexia and self-esteem: the protective role of perceived family support in late adulthood. *Aging & Mental Health*, 20(3), 284–294.
- Cardon, L. R., Smith, S. D., Fulker, D. W., Kimberling, W. J., Pennington, B. F., & DeFries, J. C. (1994). Quantitative trait locus for reading disability on chromosome 6. *Science (New York, N.Y.)*, 266(5183), 276–279. <https://doi.org/10.1126/science.7939663>
- Carroll, J. M., & Iles, J. E. (2006). An assessment of anxiety levels in dyslexic students in higher education. *British Journal of Educational Psychology*, 76(3), 651–662.
- Carvalho, M. R., Vianna, G., Oliveira, L., Costa, A. J., Pinheiro-Chagas, P., Sturzenecker, R., Zen, P. R., Rosa, R. F., de Aguiar, M. J., & Haase, V. G. (2014). Are 22q11.2 distal deletions associated with math difficulties?. *American journal of medical genetics. Part A*, 164A(9), 2256–2262. <https://doi.org/10.1002/ajmg.a.36649>
- Casanova, M. F., Araque, J., Giedd, J., & Rumsey, J. M. (2004). Reduced brain size and gyrification in the brains of dyslexic patients. *Journal of child neurology*, 19(4), 275–281. <https://doi.org/10.1177/088307380401900407>
- Castles, A., & Coltheart, M. (1993). Varieties of developmental dyslexia. *Cognition*, 47(2), 149–180.
- Cavalli, E., Colé, P., Leloup, G., Poracchia-George, F., Sprenger-Charolles, L., & El Ahmadi, A. (2018). Screening for Dyslexia in French-Speaking University Students: An Evaluation of the Detection Accuracy of the Alouette Test. *Journal of learning disabilities*, 51(3), 268–282. <https://doi.org/10.1177/0022219417704637>
- Cavalli, E., Duncan, L. G., Elbro, C., El Ahmadi, A., & Colé, P. (2017). Phonemic-morphemic dissociation in university students with dyslexia: An index of reading compensation? *Annals of Dyslexia*, 67(1), 63–84. <https://doi.org/10.1007/s11881-016-0138-y>.

- Chabris, C. F., Lee, J. J., Cesarini, D., Benjamin, D. J., & Laibson, D. I. (2015). The Fourth Law of Behavior Genetics. *Current directions in psychological science*, 24(4), 304–312. <https://doi.org/10.1177/0963721415580430>
- Chang, B., Katzir, T., Liu, T., Corriveau, K., Barzillai, M., Apse, K., Bodell, A., Hackney, D., Alsop, D., Wong, S., & Walsh, C. (2007). A structural basis for reading fluency: White matter defects in a genetic brain malformation. *Neurology*, 69, 2146 - 2154.
- Chen, C., Wong, W., Kuo, C., Liao, Y., & Ke, M. (2008). Wavelet real time monitoring system: a case study of the musical influence on electroencephalography. *WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS archive*, 7, 56-62.
- Chen, H., Gu, X. H., Zhou, Y., Ge, Z., Wang, B., Siok, W. T., Wang, G., Huen, M., Jiang, Y., Tan, L. H., & Sun, Y. (2017). A Genome-Wide Association Study Identifies Genetic Variants Associated with Mathematics Ability. *Scientific reports*, 7, 40365. <https://doi.org/10.1038/srep40365>
- Chevalier, T. M., Parrila, R., Ritchie, K. C., & Deacon, S. H. (2017). The role of metacognitive reading strategies, meta- cognitive study and learning strategies, and behavioral study and learning strategies in predicting academic success in students with and without a history of reading difficulties. *Journal of Learning Disabilities*, 50, 34–48.
- Chouake, T., Levy, T., Javitt, D. C., & Lavidor, M. (2012). Magnocellular training improves visual word recognition. *Frontiers in human neuroscience*, 6, 14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00014>
- Claassens, T., & Lessing, A. C. (2015). Young adult learners with dyslexia: their socio-emotional support needs during adolescence. *Journal of Psychology in Africa*, 25(1), 32–36.
- Cline, T., & Frederickson, N. (2009). *Special educational needs, inclusion and diversity*. McGraw-Hill Education (UK).

- Cogo-Moreina, H., Ploubidis, G., & Mari, J. (2013). Effectiveness of Music Education for the Improvement of Reading Skills and Academic Achievement in Young Poor Readers: A Pragmatic Cluster-Randomized Controlled Clinical Trial. *PLoS ONE*, 8(3), σ. e:59984. doi:10.1371/journal.pone.0059984
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2011). *Research methods in education* (7th ed.). Routledge/Taylor & Francis Group.
- Conway, T., Heilman, K. M., Gopinath, K., Peck, K., Bauer, R., Briggs, R. W., Torgesen, J. K., & Crosson, B. (2008). Neural substrates related to auditory working memory comparisons in dyslexia: an fMRI study. *Journal of the International Neuropsychological Society : JINS*, 14(4), 629–639. <https://doi.org/10.1017/S1355617708080867>
- Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-experimentation: Design & analysis issues for field settings*. Boston: Houghton Mifflin.
- Cook, V., & Ryan, D. (2016). *The Routledge Handbook of the English Writing System*.
- Coolican, H. (2014). *Research methods and statistics in psychology* (6th ed.). Psychology Press.
- Coquelle, F. M., Levy, T., Bergmann, S., Wolf, S. G., Bar-El, D., Sapir, T., Brody, Y., Orr, I., Barkai, N., Eichele, G., & Reiner, O. (2006). Common and divergent roles for members of the mouse DCX superfamily. *Cell cycle (Georgetown, Tex.)*, 5(9), 976–983. <https://doi.org/10.4161/cc.5.9.2715>
- Corkett, J. K., Parrila, R., & Hein, S. F. (2006). Learning and study strategies of university students who report a significant history of reading difficulties. *Developmental Disabilities Bulletin*, 34, 57–79.
- Cornelissen, P., Pammer, K., & Lavis, R., (2004). Visual encoding mechanisms and their relationship to text presentation preferences. *Dyslexia*. (77-94)

- Crawford, H. J., & Strapp, C. M. (1994). Effects of vocal and instrumental music on visuospatial and verbal performance as moderated by studying preference and personality. *Pers. Individ. Dif.* 16, 237–245. doi: 10.1016/0191-8869(94) 90162-7
- Cremers, H. R., Wager, T. D., & Yarkoni, T. (2017). The relation between statistical power and inference in fMRI. *PloS one*, 12(11), e0184923. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184923>
- Cutini, Simone & Szűcs, Dénes & Mead, Natasha & Huss, Martina & Goswami, Usha. (2016). Atypical right hemisphere response to slow temporal modulations in children with developmental dyslexia. *NeuroImage*. 143, 10.1016/j.neuroimage.2016.08.012.
- D’Mello, A. & Gabrieli, J.D.E. (2018). Cognitive neuroscience of dyslexia. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 49, 798-809.
- Davis, O., Band, G., Pirinen, M., Haworth, C., Meaburn, E., Kovas, Y., Harlaar, N., Docherty, S., Hanscombe, K., Trzaskowski, M., Curtis, C., Strange, A., Freeman, C., Bellenguez, C., Su, Z., Pearson, R., Vukcevic, D., Langford, C., & Spencer, C. (2014). The correlation between reading and mathematics ability at age twelve has a substantial genetic component. *Nature communications*. 5. 4204. 10.1038/ncomms5204.
- de Lissa, P., Sörensen, S., Badcock, N., Thie, J., & McArthur, G. (2015). Measuring the face-sensitive N170 with a gaming EEG system: a validation study. *Journal of neuroscience methods*, 253, 47-54.
- Dehaene, S., & Naccache, L. (2001). Towards a Cognitive Neuroscience of Consciousness: Basic Evidence and a Workspace Framework. *Cognition*. 79, 1-37. 10.1016/S0010-0277(00)00123-2.
- Démonet, J.-F., Taylor, M. J., & Chaix, Y. (2004). Developmental dyslexia. *The Lancet*, 363(9419), 1451–1460.

- Desroches, A. S., Joanisse, M. F., & Robertson, E. K. (2006). Specific phonological impairments in dyslexia revealed by eyetracking. *Cognition*, 100(3), B32-B42.
- Dhar, M., Been, P. H., Minderaa, R. B., & Althaus, M. (2010). Reduced interhemispheric coherence in dyslexic adults. *Cortex; a journal devoted to the study of the nervous system and behavior*, 46(6), 794–798. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.09.006>
- Diaz, B., Hintz, F., Kiebel, S., & Kriegstein, K. (2012). Dysfunction of the auditory thalamus in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 109. 13841-6. [10.1073/pnas.1119828109](https://doi.org/10.1073/pnas.1119828109).
- Dong, Y. (2020). The Effect of Music on Reading Comprehension. *Doctoral dissertation*.
- Doyle, M., & Furnham, A. (2012). The distracting effects of music on the cognitive test performance of creative and non-creative individuals. *Think. Skills Creat.* 7, 1–7. doi: [10.1016/j.tsc.2011.09.002](https://doi.org/10.1016/j.tsc.2011.09.002)
- Duda, R. O., & Hart, P. E. (2006). *Pattern classification*. John Wiley & Sons.
- Dufor, O., Serniclaes, W., Sprenger-Charolles, L., & Démonet, J. F. (2009). Left premotor cortex and allophonic speech perception in dyslexia: a PET study. *NeuroImage*, 46(1), 241–248. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.01.035>
- Duke, N. K., & Roberts, K. M. (2010). The genre-specific nature of reading comprehension. In *The Routledge international handbook of English, language and literacy teaching* (pp. 74–86).
- Duvinage, M., Castermans, T., Dutoit, T., Petieau, M., Hoellinger, T., Saedeleer, C. D., ... & Cheron, G. (2012). A P300-based quantitative comparison between the Emotiv Epoc headset and a medical EEG device. *Biomedical Engineering*, 765(1), 2012-2764.
- Ebrahimi, L., Pouretamad, H., Khatibi, A., & Stein, J. (2019). Magnocellular Based Visual Motion Training Improves Reading in Persian. *Scientific Reports*, 9.

- Eccles, J. C., Ito, M., & Szentagothai, J. (1967). *The cerebellum as a neuronal machine*. New York: Springer Verlag.
- Eden, G., Stein, J., Wood, H., & Wood, F., (1994). Differences in eye movements and reading problems in dyslexic and normal children. *Vision.-Research*. (1345–1358)
- Edgar, J. C., Yeo, R. A., Gangestad, S. W., Blake, M. B., Davis, J. T., Lewine, J. D., & Cañive, J. M. (2006). Reduced auditory M100 asymmetry in schizophrenia and dyslexia: applying a developmental instability approach to assess atypical brain asymmetry. *Neuropsychologia*, 44(2), 289-99.
- Elliott, J. G., & Grigorenko, E. L. (2014). *The Dyslexia Debate*. Cambridge University Press.
- Eloranta, A. K., Närhi, V. M., Eklund, K. M., Ahonen, T. P. S., & Aro, T. I. (2019). Resolving reading disability—Childhood predictors and adult-age outcomes. *Dyslexia*, 25(1), 20–37. <https://doi.org/10.1002/dys.1605>.
- Eroğlu, G., Aydın, S., Çetin, M., & Balcısoy, S. (2018, May). Improving cognitive functions of dyslexics using multi-sensory learning and EEG neurofeedback. In 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU) (pp. 1-4). IEEE.
- Eschrich, S., Münte, T. F., & Altenmüller, E. O. (2008). Unforgettable film music: the role of emotion in episodic long-term memory for music. *BMC Neurosci.* 9:48. doi: 10.1186/1471-2202-9-48
- Etaugh, C., & Ptasnik, P. (1982). Effects of studying to music and post-study relaxation on reading comprehension. *Percept. Mot. Skills* 55, 141–142. doi: 10.2466/pms.1982.55.1.141
- Evans, T. M., Flowers, D. L., Luetje, M. M., Napoliello, E., & Eden, G. F. (2016). Functional neuroanatomy of arithmetic and word reading and its relationship to age. *NeuroImage*, 143, 304–315. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.08.048>

- Evans, T. M., Flowers, D. L., Napoliello, E. M., Olulade, O. A., & Eden, G. F. (2014). The functional anatomy of single-digit arithmetic in children with developmental dyslexia. *NeuroImage*, 101, 644–652. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.07.028>
- Fabbro, F., Moretti, R., & Bava, A. (2000). Language impairments in patients with cerebellar lesions. *Journal of Neurolinguistics*, 13(2–3), 173–188.
- Fagerheim, T., Raeymaekers, P., Tønnessen, F. E., Pedersen, M., Tranebjaerg, L., & Lubs, H. A. (1999). A new gene (DYX3) for dyslexia is located on chromosome 2. *Journal of medical genetics*, 36(9), 664–669.
- Falkenstein, M., Hoormann, J., & Hohnsbein, J. (1999). ERP components in Go/Nogo tasks and their relation to inhibition. *Acta Psychol.* 101, 267–291. doi: 10.1016/S0001-6918(99)00008-6
- Farr, A., & McLaughlin, E. (2019) *Music and memory: the effects of music on reading comprehension*. Kutztown Research Commons.
- Fatourechi, M., Bashashati, A., Ward, R. K., & Birch, G. E. (2007). EMG and EOG artifacts in brain computer interface systems: A survey. *Clinical neurophysiology*, 118(3), 480-494.
- Fawcett, A. (2001). *Dyslexia and the cerebellum*. Patoss Bulletin November, 2–5.
- Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1995). Persistent Deficits in Motor Skill of Children with Dyslexia. *Journal of Motor Behavior*, 27(3), 235–240.
- Fawcett, A. J., & Nicolson, R. I. (1998). *The dyslexia adult screening test*. London: The Psychological Corporation.
- Fawcett, A.J. & Nicolson, R.I. (2004). Dyslexia: The Role of the Cerebellum. In *Dyslexia in Context* (eds G. Reid and A.J. Fawcett). <https://doi.org/10.1002/9780470777916.ch2>

- Ferenchak, A., Ly, R., Bosh, B., & Palmer, M. (2017). The Analysis of the Mozart Effect on Visual Search.
- Ferreira, A. L. S., de Miranda, L. C., de Miranda, E. E. C., & Sakamoto, S. G. (2013). A survey of interactive systems based on brain-computer interfaces. *SBC Journal on Interactive Systems*, 4(1), 3-13.
- Fias W., Menon V., Szucs D. (2013). Multiple components of developmental dyscalculia. *Trends Neurosci. Educ.* 2 43–47. 10.1016/j.tine.2013.06.006
- Fischer, B., Hartnegg, K., (2000). Stability of gaze control in dyslexia. *Strabismus*. (119–122)
- Fisher, S. E., & DeFries, J. C. (2002). Developmental dyslexia: genetic dissection of a complex cognitive trait. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(10), 767–780.
- Fisher, S. E., & Francks, C. (2006). Genes, cognition and dyslexia: learning to read the genome. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(6), 250–257.
- Fisher, S. E., Francks, C., Marlow, A. J., MacPhie, I. L., Newbury, D. F., Cardon, L. R., Ishikawa-Brush, Y., Richardson, A. J., Talcott, J. B., Gayán, J., Olson, R. K., Pennington, B. F., Smith, S. D., DeFries, J. C., Stein, J. F., & Monaco, A. P. (2002). Independent genome-wide scans identify a chromosome 18 quantitative-trait locus influencing dyslexia. *Nature genetics*, 30(1), 86–91. <https://doi.org/10.1038/ng792>
- Fisher, S. E., Marlow, A. J., Lamb, J., Maestrini, E., Williams, D. F., Richardson, A. J., Weeks, D. E., Stein, J. F., & Monaco, A. P. (1999). A quantitative-trait locus on chromosome 6p influences different aspects of developmental dyslexia. *American journal of human genetics*, 64(1), 146–156. <https://doi.org/10.1086/302190>
- Flaugnacco, E., Lopez, L., Terribilli, C., & Montico, M. (2015). Music Training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: A randomized control trial. *PLoS ONE*, 10(9), σ. e0138. doi:10.6084/m9.figshare.1537406

- Fletcher, J. M. (2009). Dyslexia: The evolution of a scientific concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 15(04), 501.
- Fogelson, S. (1973). Music as a distractor on reading-test performance of eighth grade students. *Percept. Mot. Skills* 36, 1265–1266. doi: 10.2466/pms.1973.36. 3c.1265
- Fosker, T., & Thierry, G. (2005). Phonological oddballs in the focus of attention elicit a normal P3b in dyslexic adults. *Cognitive Brain Research*, 24(3), 467-475. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2005.02.019>
- Fostick, L., Bar-El, S., & Ram-Tsur, R. (2012). Auditory Temporal Processing and Working Memory: Two Independent Deficits for Dyslexia. *Online Submission*, 2(5), 308-318.
- Francks, C., Fisher, S. E., Olson, R. K., Pennington, B. F., Smith, S. D., DeFries, J. C., & Monaco, A. P. (2002). Fine mapping of the chromosome 2p12-16 dyslexia susceptibility locus: quantitative association analysis and positional candidate genes SEMA4F and OTX1. *Psychiatric genetics*, 12(1), 35–41. <https://doi.org/10.1097/00041444-200203000-00005>
- François, C., Grau-Sanchez, J., Duarte, E., & Rodriguez-Fornells, A. (2015, April 28). Musical training as an alternative and effective method for neuro-education and neuro-rehabilitation. *Frontiers in Psychology*, 6(475). doi:10.3389/fpsyg.2015.00475
- Frid, A., & Breznitz, Z. (2012). An SVM based algorithm for analysis and discrimination of dyslexic readers from regular readers using ERPs. In 2012 *IEEE 27th Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel* (pp. 1-4). IEEE.
- Frith, U. (1999). Paradoxes in the definition of dyslexia. *Dyslexia*, 5(4), 192–214.
- Frye, R. E., Liederman, J., Malmberg, B., McLean, J., Strickland, D., & Beauchamp, M. S. (2010). Surface area accounts for the relation of gray matter volume to reading-related skills and history of dyslexia. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, 20(11), 2625–2635. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhq010>

- Fulbright, R. K., Jenner, A. R., Mencl, W. E., Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., ... & Marchione, K. E. (1999). The cerebellum's role in reading: a functional MR imaging study. *American Journal of Neuroradiology*, 20(10), 1925-1930.
- Furnham, A., & Bradley, A. (1997). Music while you work: the differential distraction of background music on the cognitive test performance of introverts and extraverts. *Appl. Cogn. Psychol.* 11, 445–455. doi: 10.1002/(SICI)1099- 0720(199710)11:5<445::AID-ACP472>3.0.CO;2-R
- Galaburda, A. M. (2005). *Dyslexia—A molecular disorder of neuronal migration*.
- Galaburda, A. M., LoTurco, J., Ramus, F., Fitch, R. H., & Rosen, G. D. (2006). From genes to behavior in developmental dyslexia. *Nature neuroscience*, 9(10), 1213–1217. <https://doi.org/10.1038/nn1772>
- 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(2), 222–233.
- García, J. R., & Cain, K. (2014). Decoding and reading comprehension: a meta-analysis to identify which reader and assessment characteristics influence the strength of the relationship in English. *Review of Educational Research*, 84(1), 74–111.
- Gathercole, S. E., & Baddeley, A. D. (2014). *Working Memory and Language*.
- Gayán, J., Smith, S. D., Cherny, S. S., Cardon, L. R., Fulker, D. W., Brower, A. M., Olson, R. K., Pennington, B. F., & DeFries, J. C. (1999). Quantitative-trait locus for specific language and reading deficits on chromosome 6p. *American journal of human genetics*, 64(1), 157–164. <https://doi.org/10.1086/302191>
- Gazzaniga, M. S., & Mangun, G. R. (2014). *The Cognitive Neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press.

- Gerber, P. J. (2012). The impact of learning disabilities on adulthood: A review of the evidenced-based literature for research and practice in adult education. *Journal of Learning Disabilities, 45*(1), 31–46. <https://doi.org/10.1177/0022219411426858>.
- Gersten, R., Fuchs, L. S., Williams, J. P., & Baker, S. (2001). Teaching reading comprehension strategies to students with learning disabilities: a review of research. *Review of Educational Research, 71*(2), 279–320.
- Geschwind, N., & Levitsky, W. (1968). Human brain: left-right asymmetries in temporal speech region. *Science, 161*(3837), 186-187.
- Gilger, J. W., Talavage, T. M., & Olulade, O. A. (2013). An fMRI study of nonverbally gifted reading disabled adults: has deficit compensation effected gifted potential?. *Frontiers in human neuroscience, 7*, 507. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00507>
- Giraldo-Chica, M., Hegarty, J., Schneider, K., (2015). Morphological differences in the lateral geniculate nucleus associated with dyslexia. *NeuroImage: Clinical* (830–836)
- Giraud, A. L., & Poeppel, D. (2012). Cortical oscillations and speech processing: emerging computational principles and operations. *Nature neuroscience, 15*(4), 511.
- Giraud, K., Démonet, J. F., Habib, M., Marquis, P., Chauvel, P., & Liégeois-Chauvel, C. (2005). Auditory evoked potential patterns to voiced and voiceless speech sounds in adult developmental dyslexics with persistent deficits. *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991), 15*(10), 1524–1534. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi031>
- Gola-Asmussen, C., Lequette, C., Pouget, G., Rouyer, C., & Zorman, M. (2011). *ECLA-16+: Évaluation des compétences de lecture chez l'adulte de plus de 16 ans*. Grenoble, France: CeFoCOP/Université de Provence Aix-Marseille I–Cognisciences LSE Université Pierre Mendès.

- Gori, S., Seitz, A., Ronconi, L., Franceschini, S., & Facoetti, A. (2015). The causal link between magnocellular-dorsal pathway functioning and dyslexia. *Journal of Vision*, 15(12), 195-195.
- Goswami U. (2011). A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in cognitive sciences*, 15(1), 3–10. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.10.001>
- Goswami, U., Thomson, J., Richardson, U., Stainthorp, R., Hughes, D., Rosen, S. et al. (2002). Amplitude envelope onsets and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 99, 10911-10916.
- Gough, P. B., Hoover, W. A., & Peterson, C. L. (1996). Some observations on a simple view of reading. In C. Cornoldi & J. Oakhill (Eds.), *Reading comprehension difficulties* (pp. 1–13). Mahwah: Lawrence Erlbaum.
- Graesser, A. C. (2007). An introduction to strategic reading comprehension. *Reading comprehension strategies: Theories, interventions, and technologies*, 2579, 3–26.
- Grigorenko E. L. (2001). Developmental dyslexia: an update on genes, brains, and environments. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 42(1), 91–125.
- Grigorenko, E. L., Wood, F. B., Meyer, M. S., Hart, L. A., Speed, W. C., Shuster, A., & Pauls, D. L. (1997). Susceptibility loci for distinct components of developmental dyslexia on chromosomes 6 and 15. *American journal of human genetics*, 60(1), 27–39.
- Grigorenko, E. L., Wood, F. B., Meyer, M. S., Pauls, J. E., Hart, L. A., & Pauls, D. L. (2001). Linkage studies suggest a possible locus for developmental dyslexia on chromosome 1p. *American journal of medical genetics*, 105(1), 120–129.
- Gunn, L. (2000). The Dyslexia Adult Screening Test (DAST) a review. *The Application of Occupational Psychology to Employment and Disability*, 2(2), 37–44.

- Habib, M. (2000). The neurological basis of developmental dyslexia. *Brain*, 123(12), 2373–2399.
- Habib, M., Lardy, C., Desiles, T., Commeiras, C., Chobert, J., & Besson, M. (2016). Music and Dyslexia: A New Musical Training Method to Improve Reading and Related Disorders. *Frontiers in psychology*, 7, 26. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00026>
- Haft, S. L., Myers, C. A., & Hoeft, F. (2016). Socio-emotional and cognitive resilience in children with reading disabilities. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 133–141.
- Haines, D. E., & Manto, M. U. (2007). Clinical symptoms of cerebellar disease and their interpretation. *Cerebellum* (London, England), 6(4), 360–374. <https://doi.org/10.1080/14734220701798199>
- Hallam, S. (2010). The power of music: Its impact on the intellectual, social and personal development of children and young people. *International Journal of Music Education*, 28(3), σσ. 269-289. doi:10.1177/0255761410370658
- Hallam, S., Price, J., & Katsarou, G. (2002). The Effects of Background Music on Primary School Pupils' Task Performance. *Educational Studies*, 28, 111 - 122.
- Hämäläinen, J. A., Fosker, T., Szücs, D., & Goswami, U. (2011). N1, P2 and T- complex of the auditory brain event-related potentials to tones with varying rise times in adults with and without dyslexia. *International Journal of Psychophysiology*, 81, 51-59.
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Guttorm, T. K., & Lyytinen, H. (2007). N1 and P2 components of auditory event-related potentials in children with and without reading disabilities. *Clinical Neurophysiology*, 118, 2263-2275.
- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Guttorm, T. K., & Lyytinen, H. (2008). Event-related potentials to pitch and rise time change in children with reading disabilities and typically reading children. *Clinical Neurophysiology*, 119, 100-115.

- Hämäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., Torppa, M., Muller, K., & Lyytinen, H. (2005). Detection of sound rise time by adults with dyslexia. *Brain and Language*, 94, 32-42.
- Hämäläinen, J. A., Rupp, A., Soltész, F., Szücs, D., & Goswami, U. (2012a). Reduced phase locking to slow amplitude modulation in adults with dyslexia: An MEG study. *Neuroimage*, 59, 2952-2961.
- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K., & Leppänen, P. H. T. (2012b). Basic auditory processing deficits in dyslexia: Systematic review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities*, in press, DOI: 10.1177/0022219411436213.
- Hannula-Jouppi, K., Kaminen-Ahola, N., Taipale, M., Eklund, R., Nopola-Hemmi, J., Kääriäinen, H., & Kere, J. (2005). The axon guidance receptor gene ROBO1 is a candidate gene for developmental dyslexia. *PLoS genetics*, 1(4), e50. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0010050>
- Harries, P., Hall, R., Ray, N., Stein, J., & Griffiths, P., (2015). Using colored filters to reduce the symptoms of visual stress in children with reading delay. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*. (1–8)
- Harrison, A. G., Rosenblum, Y., & Currie, S. (2010). Examining unusual digit span performance in a population of postsecondary students assessed for academic difficulties. *Assessment*, 17, 283–293.
- Harrison, A., & Nichols, E. (2005). A validation of the Dyslexia Adult Screening Test (DAST) in a post-secondary population. *Journal of Research in Reading*, 28, 423–434.
- Hatcher, J., Snowling, M. J., & Griffiths, Y. M. (2002). Cognitive assessment of dyslexic students in higher education. *British Journal of Educational Psychology*, 72(1), 119–133. <https://doi.org/10.1348/000709902158801>.

- Heim, S., & Dohla, D. (2016). Developmental Dyslexia and Dysgraphia: What can we learn from the one about the other? *Frontiers in Psychology*. doi:10.3389/fpsyg.2015.02045
- Heim, S., & Keil, A. (2004). Large-scale neural correlates of developmental dyslexia. *European child & adolescent psychiatry*, 13(3), 125-140.
- 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.
- Herren, R.V., Ary, D., Jacobs, L., Irvine, C.K., Walker, D.A., & Arrington, W. (2020). Introduction to Research in Education (10th ed.). *International Journal of Research*, 7, 1-2.
- Hoeft, F., Hernandez, A., McMillon, G., Taylor-Hill, H., Martindale, J. L., Meyler, A., Gabrieli, J. D. E. (2006). Neural Basis of Dyslexia: A Comparison between Dyslexic and Nondyslexic Children Equated for Reading Ability. *Journal of Neuroscience*, 26(42), 10700–10708.
- Hoeft, F., McCandliss, B. D., Black, J. M., Gantman, A., Zakerani, N., Hulme, C., ... Gabrieli, J. D. E. (2011). Neural systems predicting long-term outcome in dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(1), 361–366. <https://doi.org/10.1073/pnas.1008950108>.
- Høien, T., & Lundberg, I. (2000). *Dyslexia: From Theory to Intervention*. Kluwer Academic Publishers.
- Holmes, A. (2019). Level of Extraversion and its impact on Reading Comprehension in the Presence of Background Music. .
- Hommet, C., Vidal, J., Roux, S., Blanc, R., Barthez, M. A., De Becque, B., Barthelemy, C., Bruneau, N., & Gomot, M. (2009). Topography of syllable change-detection electrophysiological indices in children and adults with reading disabilities. *Neuropsychologia*, 47(3), 761-70. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.12.010>

- Hoover, W. A., & Gough, P. B. (1990). The simple view of reading. *Reading and Writing*, 2(2), 127–160.
- Horowitz-Kraus T. (2011). Does development affect the error-related negativity of impaired and skilled readers? An ERP study. *Developmental neuropsychology*, 36(7), 914–932. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.606415>
- Horowitz-Kraus, T. (2012). *The error detection mechanism among dyslexic and skilled readers: Characterization and plasticity*. In Z. Breznitz, O. Rubinsten, V. J. Molfese, & D. L. Molfese (Eds.), *Perspectives from cognitive neurosciences, linguistics, psychology and education. Reading, writing, mathematics and the developing brain: Listening to many voices* (p. 113–130). Springer Science + Business Media. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4086-0_7
- 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 Sciences of the United States of America*, 95(15), 8939–8944. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.15.8939>
- Howells, F. M., Ives-Deliperi, V. L., Horn, N. R., & Stein, D. J. (2012). Mindfulness based cognitive therapy improves frontal control in bipolar disorder: a pilot EEG study. *BMC psychiatry*, 12, 15. <https://doi.org/10.1186/1471-244X-12-15>
- Hu, X., Li, F., & Kong, R. (2019). Can Background Music Facilitate Learning? Preliminary Results on Reading Comprehension. In *Proceedings of the 9th International Conference on Learning Analytics & Knowledge* (pp. 101-105).
- Hulme, C., & Snowling, M. J. (2013). *Developmental Disorders of Language Learning and Cognition*. John Wiley & Sons.

- Humphrey, N. (2002). Self-concept and self-esteem in developmental dyslexia: Implications for theory and practice. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 2 (2). Published online 26 Jan 2004. doi: 10.1111/j.1471-3802.2002.00163.x
- Humphreys, P., Kaufmann, W. E., & Galaburda, A. M. (1990). Developmental dyslexia in women: neuropathological findings in three patients. *Annals of Neurology*, 28(6), 727–738.
- Illingworth, S., & Bishop, D. V. (2009). Atypical cerebral lateralisation in adults with compensated developmental dyslexia demonstrated using functional transcranial Doppler ultrasound. *Brain and language*, 111(1), 61–65. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2009.05.002>
- Im, S., & Lombardino, L. J. (2016). Simple Sentence Reading and Specific Cognitive Functions in College Students with Dyslexia: An Eye-tracking Study in Children with Dyslexia: Beyond Word Recognition. *Cerebral Cortex*, 19(2), 402–413. *International Review of Psychiatry*, 13(4), 276–282.
- Jackson, N. E., & Coltheart, M. (2001). *Routes To Reading Success and Failure: Toward an Integrated Cognitive Psychology of Atypical Reading*. London and New York: Psychology Press.
- Jäncke, L. (2008). Music, memory and emotion. *J. Biol.* 7:21. doi: 10.1186/jbiol82
- Jäncke, L., & Sandmann, P. (2010). Music listening while you learn: no influence of background music on verbal learning. *Behav. Brain Funct.* 6:3. doi: 10.1186/1744-9081-6-3
- Jäncke, L., Musial, F., Vogt, J., & Kalveram, K. T. (1994). Monitoring radio programs and time of day affect simulated car-driving performance. *Percept. Mot. Skills* 79, 484–486. doi: 10.2466/pms.1994.79.1.484
- Jausovec, N., Jausovec, K., & Gerlic, I. (2006). The influence of Mozart's music on brain activity in the process of learning. *Clinical neurophysiology : official journal of the International*

- Federation of Clinical Neurophysiology*, 117(12), 2703–2714.
<https://doi.org/10.1016/j.clinph.2006.08.010>
- Jenkins, I. H., Brooks, D. J., Nixon, P. D., Frackowiak, R. S., & Passingham, R. E. (1994). Motor sequence learning: a study with positron emission tomography. *Journal of Neuroscience*, 14(6), 3775–3790.
- Jenkins, J. S. (2001). The Mozart effect. *Journal of the royal society of medicine*, 94(4), 170–172.
- Joanisse, M.F., Manis, F.R., Keating, P. and Seidenberg, M.S. (2000). Language deficits in dyslexic children: Speech perception, phonology and morphology. *Journal of Experimental Child Psychology* 71, 30–60.
- Jordan, J. A., McGladdery, G., & Dyer, K. (2014). Dyslexia in higher education: implications for math anxiety, statistics anxiety and psychological well-being. *Dyslexia*, 20(3), 225–240.
- Joshi, R. M., & Aaron, P. G. (2016). *Handbook of Orthography and Literacy*. Routledge.
- Judge, J., Caravolas, M., & Knox, P. C. (2006). Smooth pursuit eye movements and phonological processing in adults with dyslexia. *Cognitive Neuropsychology*, 23(8), 1174–1189.
- Kaminen, N., Hannula-Jouppi, K., Kestilä, M., Lahermo, P., Muller, K., Kaaranen, M., Myllyluoma, B., Voutilainen, A., Lyytinen, H., Nopola-Hemmi, J., & Kere, J. (2003). A genome scan for developmental dyslexia confirms linkage to chromosome 2p11 and suggests a new locus on 7q32. *Journal of medical genetics*, 40(5), 340–345.
<https://doi.org/10.1136/jmg.40.5.340>
- Kämpfe, J., Sedlmeier, P., & Renkewitz, F. (2011). The impact of background music on adult listeners: a meta-analysis. *Psychol. Music* 39, 424–448. doi: 10.1177/0305735610376261

- Kandel, S., Lassus-Sangosse, D., Grosjacques, G., & Perret, C. (2017). The impact of developmental dyslexia and dysgraphia on movement production during word writing. *Cognitive Neuropsychology*, 34(3-4), 219–251.
- Kaneko, M., Kaga, M., Inagaki, M., & Haruhara, N. (1998). Cognitive neuropsychological and regional cerebral blood flow study of a developmentally dyslexic Japanese child. *Journal of child neurology*, 13(9), 457-461.
- Karni, A., Morocz, I., Bitan, T., Shaul, S., & Breznitz, Z. (2005). An fMRI study of the differential effects of word presentation rates (reading acceleration) on dyslexic readers' brain activity patterns. *Journal of Neurolinguistics*, 18, 197-219.
- Kasselimis, D., Margarity, M., & Vlachos, F. (2008). Cerebellar function, dyslexia and articulation speed. *Child Neuropsychology*, 14, 303-313.
- Kelly, K., & Phillips, S. (2016). *Teaching Literacy to Learners with Dyslexia: A Multi- sensory Approach*. SAGE.
- Kere J. (2011). Molecular genetics and molecular biology of dyslexia. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 2(4), 441–448. <https://doi.org/10.1002/wcs.138>
- Kerlinger, F. N., & Lee, H. B. (2000). *Foundations of behavioral research*. Fort Worth, TX: Harcourt College Publishers.
- Khan, A., Härmäläinen, J. A., Leppänen, P. H. T., & Lyytinen, H. (2011). Auditory event-related potentials show altered hemispheric responses in dyslexia. *Neuroscience Letters*, 498, 127-132.
- Kintsch, W., & Walter Kintsch, C. B. E. M. A. F. R. S. (1998). *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge university press p 461.
- Kirkby, J., Webster, L., Blythe, I., & Liversedge, P., (2008). Binocular coordination during reading and non-reading tasks. *Psychology. Bull.* (742–763)

- Kirkpatrick, R. M., Legrand, L. N., Iacono, W. G., & McGue, M. (2011). A Twin and Adoption Study of Reading Achievement: Exploration of Shared-Environmental and Gene-Environment-Interaction Effects. *Learning and individual differences*, 21(4), 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.04.008>
- Kita, Y., Yamamoto, H., Oba, K., Terasawa, Y., Moriguchi, Y., Uchiyama, H., ... & Inagaki, M. (2013). Altered brain activity for phonological manipulation in dyslexic Japanese children. *Brain*, 136(12), 3696-3708.
- Klassen, R. M., Tze, V. M., & Hannok, W. (2013). Internalizing problems of adults with learning disabilities: a meta-analysis. *Journal of learning disabilities*, 46(4), 317–327. <https://doi.org/10.1177/0022219411422260>
- Klimesch, W. (1999). EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain research reviews*, 29(2-3), 169-195.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Cramon, D. Y. V., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: a cortical “language-network” serves the processing of music. *Neuroimage*, 17(2), 956-966.
- Konur, O. (2002). Assessment of disabled students in higher education: Current public policy issues. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 27, 131–152.
- Korinth, S. P., Sommer, W., & Breznitz, Z. (2011). Toward an ERP-driven diagnostic approach for reading impairments. *Developmental neuropsychology*, 36(7), 944–948. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.606420>
- Kormos, J., Csizer, K., & Sarkadi, A. (2009). The language learning experiences of students with dyslexia: lessons from an interview study. *International Journal of Innovation in Language Learning and Teaching*, 3(2), 115–130.

- Kovas, Y., & Plomin, R. (2006). Generalist genes: implications for the cognitive sciences. *Trends in cognitive sciences*, 10(5), 198–203. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2006.03.001>
- Krapohl, E., Rimfeld, K., Shakeshaft, N. G., Trzaskowski, M., McMillan, A., Pingault, J. B., Asbury, K., Harlaar, N., Kovas, Y., Dale, P. S., & Plomin, R. (2014). The high heritability of educational achievement reflects many genetically influenced traits, not just intelligence. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 111(42), 15273–15278. <https://doi.org/10.1073/pnas.1408777111>
- Krause, A. E., North, A. C., & Hewitt, L. Y. (2015). Music-listening in everyday life: devices and choice. *Psychol. Music* 43, 155–170. doi: 10.1177/ 0305735613496860
- Kropotov, J. D., & Ponomarev, V. A. (2015). Differentiation of neuronal operations in latent components of event-related potentials in delayed match-to-sample tasks. *Psychophysiology* 52, 826–838. doi: 10.1111/psyp. 12410
- Kropotov, J. D., Ponomarev, V. A., Hollup, S., & Mueller, A. (2011). Dissociating action inhibition, conflict monitoring and sensory mismatch into independent components of event related potentials in GO/NOGO task. *Neuroimage* 57, 565–575. doi: 10.1016/j.neuroimage.2011.04.060
- Kropotov, J. D., Ponomarev, V. A., Pronina, M., & Jäncke, L. (2017). Functional indexes of reactive cognitive control: ERPs in cued go/no-go tasks. *Psychophysiology* 54, 1899–1915. doi: 10.1111/psyp.12960
- Kropotov, J., Ponomarev, V., Tereshchenko, E. P., Müller, A., & Jäncke, L. (2016). Effect of aging on ERP components of cognitive control. *Front. Aging Neurosci.* 8:69. doi: 10.3389/fnagi.2016.00069
- Krupa, D. J., Thompson, J. K., & Thompson, R. F. (1993). Localization of a memory trace in the mammalian brain. *SCIENCE-NEW YORK THEN WASHINGTON-*, 260, 989-989.

- Kuhn, M. R., Schwanenflugel, P. J., & Meisinger, E. B. (2010). Aligning theory and assessment of reading fluency: automaticity, prosody, and definitions of fluency. *Reading Research Quarterly*, 45(2), 230–251.
- Kujala, T. S., Lojonen, J. M., Klika, K., & Pihlaja, K. (2000, November). Phenolics and Betacyanins in Red Beetroot Root: Distribution and Effect of Cold Storage on the Content of Total Phenolics and Three Individual Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(11), 5338–5342. doi:10.1021/jf000523q
- Lallier, M., Tainturier, M. J., Dering, B., Donnadieu, S., Valdois, S., & Thierry, G. (2010). Behavioral and ERP evidence for amodal sluggish attentional shifting in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 48(14), 4125–4135. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2010.09.027>
- Landerl, K., & Moll, K. (2010). Comorbidity of learning disorders: prevalence and familial transmission. *Journal of child psychology and psychiatry, and allied disciplines*, 51(3), 287–294. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02164.x>
- Landerl, K., Bevan, A., & Butterworth, B. (2004). Developmental dyscalculia and basic numerical capacities: A study of 8–9-year-old students. *Cognition*, 93(2), 99–125.
- Landerl, K., Ramus, F., Moll, K., Lyytinen, H., Leppänen, P. H. T., Lohvansuu, K., ... & Kunze, S. (2013). Predictors of developmental dyslexia in European orthographies with varying complexity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 54(6), 686–694. <https://doi.org/10.1111/jcpp.12029>.
- Lathroum, L. M. (2011). *The role of music perception in predicting phonological awareness in Five-And Six-Year-Old Children*. University of Miami.
- Lebel, C., Shaywitz, B., Holahan, J., Shaywitz, S., Marchione, K., & Beaulieu, C. (2013). Diffusion tensor imaging correlates of reading ability in dysfluent and non-impaired readers. *Brain and language*, 125(2), 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2012.10.009>

- Lefavrais, P. (1967). *Test de l'alouette: manuel*. Paris, France: Les éditions du centre de psychologie appliquée.
- Lefavrais, P. (2005). *Alouette-R*. Paris: Les éditions du centre de psychologie appliquée.
- Lefly, D. L., & Pennington, B. F. (1991). Spelling errors and reading fluency in compensated adult dyslexics. *Annals of Dyslexia*, 41(1), 143–162. <https://doi.org/10.1007/BF02648083>.
- Lehongre, K., Morillon, B., Giraud, A. L., & Ramus, F. (2013). Impaired auditory sampling in dyslexia: further evidence from combined fMRI and EEG. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 454. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00454>
- Leiner, H. C., Leiner, A. L., & Dow, R. S. (1989). Reappraising the cerebellum: what does the hindbrain contribute to the forebrain?. *Behavioral neuroscience*, 103(5), 998.
- Leiner, H. C., Leiner, A. L., & Dow, R. S. (1993). Cognitive and language functions of the human cerebellum. *Trends in neurosciences*, 16(11), 444-447.
- Leinonen, S., Müller, K., Leppänen, P. H., Aro, M., Ahonen, T., & Lyytinen, H. (2001). Heterogeneity in adult dyslexic readers: relating processing skills to the speed and accuracy of oral text reading. *Reading and Writing*, 14(3–4), 265–296.
- Leonard, C., Eckert, M., Lombardino, L., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C., King, W., & Freeman, A. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex*, 11, 148-157.
- Leong, C. K., & Joshi, R. M. (2013). *Developmental and Acquired Dyslexia: Neuropsychological and Neurolinguistic Perspectives*. Springer Science & Business Media.
- Lin, L. C., Ouyang, C. S., Chiang, C. T., Wu, R. C., Wu, H. C., & Yang, R. C. (2014). Listening to Mozart K. 448 decreases electroencephalography oscillatory power associated with an

increase in sympathetic tone in adults: a post-intervention study. *JRSM open*, 5(10), 2054270414551657.

Livingston, E. M., Siegel, L. S., & Ribary, U. (2018). Developmental dyslexia: emotional impact and consequences. *Australian Journal of Learning Difficulties*, 23(2), 107–135.

Livingstone, M., Galaburda, A., (1993). Evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Annals of the New York Academy of Sciences*. (682: 70-82)

Livingstone, M., Rosen, G., Drislane, F., & Galaburda, A., (1991). Physiological and anatomical evidence for a magnocellular defect in developmental dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. (88:7943-7947)

Lovegrove, W. J., Bowling, A., Badcock, D., & Blackwood, M. (1980). Specific reading disability: differences in contrast sensitivity as a function of spatial frequency. *Science*, 210(4468), 439–440.

Lovett, M. W., Steinbach, K. A., & Frijters, J. C. (2000). Remediating the core deficits of developmental reading disability: a double-deficit perspective. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 334–358.

Lucid Research Limited (2010). *Lucid Adult Dyslexia Screening Plus administrator's manual*. Retrieved 19 June 2014 from <http://www.lucid-research.com>

Lundqvist, M., Herman, P., & Lansner, A. (2011). Theta and gamma power increases and alpha/beta power decreases with memory load in an attractor network model. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(10), 3008–3020. <https://doi.org/10.1162/jocn.2011.00029>

Lyon, G. R., Shaywitz, S. E., & Shaywitz, B. A. (2003). A definition of dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 53(1), 1–14.

- Lyytinen, H., Aro, M., & Holopainen, L. (2004). Dyslexia in highly orthographically regular finish. In I. Smythe, J. Everatt, & R. Slater (Eds.), *International book of dyslexia: A cross language comparison and practice guide* (pp. 81–91). Chichester, England: Wiley.
- MacSweeney, M., Brammer, M. J., Waters, D., & Goswami, U. (2009). Enhanced activation of the left inferior frontal gyrus in deaf and dyslexic adults during rhyming. *Brain : a journal of neurology*, 132(Pt 7), 1928–1940. <https://doi.org/10.1093/brain/awp129>
- Madjar, N., Gazoli, R., Manor, I., & Shoval, G. (2020). Contrasting Effects of Music on Reading Comprehension in preadolescents with and without ADHD. *Psychiatry Research.*, σ. 113207.
- Mahé, G., Bonnefond, A., & Doignon-Camus, N. (2013). Is the impaired N170 print tuning specific to developmental dyslexia? A matched reading-level study with poor readers and dyslexics. *Brain and language*, 127(3), 539–544. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2013.09.012>
- Mahé, G., Bonnefond, A., Gavens, N., Dufour, A., & Doignon-Camus, N. (2012). Impaired visual expertise for print in French adults with dyslexia as shown by N170 tuning. *Neuropsychologia*, 50(14), 3200–3206. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.10.013>
- Marino, C., Mascheretti, S., Riva, V., Cattaneo, F., Rigoletto, C., Rusconi, M., Gruen, J. R., Giorda, R., Lazazzera, C., & Molteni, M. (2011). Pleiotropic effects of DCDC2 and DYX1C1 genes on language and mathematics traits in nuclear families of developmental dyslexia. *Behavior genetics*, 41(1), 67–76. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9412-7>
- Marogna, V. (2012). Dyslexia and Foreign Language Teaching: A Survey on the Implementation of Accommodations towards Dyslexia Learners. Venezia: University of Venezia.

- Martin, A., Schurz, M., Kronbichler, M., & Richlan, F. (2015). Reading in the brain of children and adults: a meta-analysis of 40 functional magnetic resonance imaging studies. *Human brain mapping, 36*(5), 1963–1981. <https://doi.org/10.1002/hbm.22749>
- Mather, N., White, J.A., & Youman, M. (2020). Dyslexia Around the World: A Snapshot. *Learning Disabilities: a Multidisciplinary Journal, 25*, 1-17.
- Mathiak, K., Hetrich, I., Grodd W, and Ackermann, H. (2002), Cerebellum and speech perception: a functional magnetic resonance imaging study. *J. Cogn . Neurosci. 14*, 902-912
- Maughan, B., Messer, J., Collishaw, S., Snowling, M. J., Yule, W., & Rutter, M. (2009). Persistence of literacy problems: Spelling in adolescence and at mid-life. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 50*, 893–901.
- Mayseless, N., & Breznitz, Z. (2011). Brain activity during processing objects and pseudo-objects: Comparison between adult regular and dyslexic readers. *Clinical Neurophysiology, 122*(2), 284–298. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2010.06.029>
- Mazzocco, M. M., & Räsänen, P. (2013). Contributions of longitudinal studies to evolving definitions and knowledge of developmental dyscalculia. *Trends in neuroscience and education, 2*(2), 65-73.
- Mazzocco, M. M., Feigenson, L., & Halberda, J. (2011). Impaired acuity of the approximate number system underlies mathematical learning disability (dyscalculia). *Child development, 82*(4), 1224–1237. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2011.01608.x>
- McAnally, K. I. & Stein, J. F. (1997). Scalp potentials evoked by amplitude- modulated tones in dyslexia. *Journal of Speech Language and Hearing Research, 40*, 939-945.
- McCrory, E., Mechelli, A., Frith, U., & Price, C. (2005). More than words: a common neural basis for reading and naming deficits in developmental dyslexia? *Brain : a journal of neurology, 128 Pt 2*, 261-7 .

- McGrann, J. V., Shaw, G. L., Shenoy, K. V., Leng, X., & Mathews, R. B. (1994). Computation by symmetry operations in a structured model of the brain: Recognition of rotational invariance and time reversal. *Physical Review E*, 49(6), 5830.
- McLoughlin, D., & Leather, C. (2013). *The dyslexic adult: Interventions and outcomes-an evidence-based approach*. John Wiley & Sons.
- McNamara, D. S. (Ed.). (2007). Reading comprehension strategies: theories, interventions, and technologies. Psychology Press p 534.
- McNulty, M.A. (2003). Dyslexia and the life course. *Journal of Learning Disabilities*. 36 (4), 363 – 381. doi: 10.1177/00222194030360040701
- Medvedev A. V. (2001). Temporal binding at gamma frequencies in the brain: paving the way to epilepsy?. *Australasian physical & engineering sciences in medicine*, 24(1), 37–48. <https://doi.org/10.1007/BF03178284>
- Meer, Y., Breznitz, Z., & Katzir, T. (2016). Calibration of self-reports of anxiety and physiological measures of anxiety while reading in adults with and without reading disability. *Dyslexia*, 22(3), 267–284.
- Meier, N. M., Perrig, W., & Koenig, T. (2012). Neurophysiological correlates of delinquent behaviour in adult subjects with ADHD. *Int. J. Psychophysiol.* 84, 1–16. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2011.12.011
- Menell, P., McAnally, K. I., & Stein, J. F. (1999). Psychophysical sensitivity and physiological response to amplitude modulation in adult dyslexic listeners. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, 42, 797-803.
- Meng, H., Smith, S. D., Hager, K., Held, M., Liu, J., Olson, R. K., Pennington, B. F., DeFries, J. C., Gelernter, J., O'Reilly-Pol, T., Somlo, S., Skudlarski, P., Shaywitz, S. E., Shaywitz, B. A., Marchione, K., Wang, Y., Paramasivam, M., LoTurco, J. J., Page, G. P., & Gruen, J. R. (2005). DCDC2 is associated with reading disability and modulates neuronal

development in the brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(47), 17053–17058.
<https://doi.org/10.1073/pnas.0508591102>

Meyer, B. J. F. (1975). *The organization of prose and its effects on memory*. Amsterdam: North-Holland Publishing Co..

Miciak, J., Fletcher, J. M., Stuebing, K. K., Vaughn, S., & Tolar, T. D. (2014). Patterns of cognitive strengths and weaknesses: Identification rates, agreement, and validity for learning disabilities identification. *School Psychology Quarterly*, 29(1), 21.

Miles, T. (1993). *Dyslexia: The pattern of difficulties* (2nd ed.). London: Whurr Publishers.

Miles, T. (1997). *The Bangor Dyslexia Test*. Cambridge: Learning Development Aids.

Miles, T. R. (2006). *Fifty years in dyslexia research*. Chichester, England; Hoboken, NJ: Wiley.

Miles, T. R., Haslum, M. N., & Wheeler, T. J. (1998). Gender ratio in dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 48(1), 27–55.

Miller-Shaul, S. (2005). The characteristics of young and adult dyslexics readers on reading and reading related cognitive tasks as compared to normal readers. *Dyslexia*, 11, 132–151. <https://doi.org/10.1002/dys.290>.

Milner, A. D., & Goodale, M. A. (2008). Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 46(3), 774–785.

Moll, K., Ramus, F., Bartling, J., Bruder, J., Kunze, S., Neuhoff, N., ... & Tóth, D. (2014). Cognitive mechanisms underlying reading and spelling development in five European orthographies. *Learning and Instruction*, 29, 65–77.
<https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.09.003>

- Moreau, D., Wilson, A. J., McKay, N. S., Nihill, K., & Waldie, K. E. (2018). No evidence for systematic white matter correlates of dyslexia and dyscalculia. *NeuroImage. Clinical*, 18, 356–366. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.02.004>
- Moretti, R., Brava, A., Torre, P., Antonello, R., & Gazzato, G. (2002). Reading errors in patients with cerebellar vermis lesions. *Journal of Neurology*, 249, 461-468.
- Morillon, B., Lehongre, K., Frackowiak, R. S., Ducorps, A., Kleinschmidt, A., Poeppel, D., & Giraud, A. L. (2010). Neurophysiological origin of human brain asymmetry for speech and language. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(43), 18688-18693.
- Mortimore, T., & Crozier, W. R. (2006). Dyslexia and difficulties with study skills in higher education. *Studies in Higher Education*, 31(2), 235–251.
- Morton, J., & Frith, U. (1995). Causal modeling -- A structural approach to developmental psychopathology. In D. Cicchetti & D. Cohen (Eds.), *Developmental Psychopathology* (pp. 357–390). New York: Wiley.
- Mun, N. L., & Jumadi, N. A. (2020). Statistical Evaluation on the Performance of Dyslexia Risk Screening System Based Fuzzy Logic and WEKA. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29(7), 638-649.
- Munafò M. R. (2006). Candidate gene studies in the 21st century: meta-analysis, mediation, moderation. *Genes, brain, and behavior*, 5 Suppl 1, 3–8. <https://doi.org/10.1111/j.1601-183X.2006.00188.x>
- Muneaux, M., Ziegler, J. C., Truc, C., Thomson, J., & Goswami, U. (2004). Deficits in beat perception and dyslexia: evidence from French. *Neuroreport*, 15, 1255-1259.
- Nantais, K. M., & Schellenberg, E. G. (1999). The Mozart effect: an artifact of preference. *Psychol. Sci.* 10, 370–373. doi: 10.1111/1467-9280.00170

- National Working Party on Dyslexia in Higher Education (1999). *Dyslexia in higher education: Policy, provision and practice*. Hull, UK: University of Hull.
- Nergård-Nilssen, T., & Hulme, C. (2014). Developmental dyslexia in adults: Behavioural manifestations and cognitive correlates. *Dyslexia*, 20(3), 191–207. <https://doi.org/10.1002/dys.1477>.
- Newbury, D. F., Paracchini, S., Scerri, T. S., Winchester, L., Addis, L., Richardson, A. J., Walter, J., Stein, J. F., Talcott, J. B., & Monaco, A. P. (2011). Investigation of dyslexia and SLI risk variants in reading- and language-impaired subjects. *Behavior genetics*, 41(1), 90–104. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9424-3>
- Nicolas-Alonso, L. F., & Gomez-Gil, J. (2012). Brain computer interfaces, a review. *Sensors*, 12(2), 1211-1279.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. (2008). *Dyslexia, learning, and the brain*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Nicolson, R. I., & Fawcett, A. J. (1999). Developmental dyslexia: The role of the cerebellum. *Dyslexia*, 5(3), 155-177.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (1995). Time estimation deficits in developmental dyslexia: evidence of cerebellar involvement. *Proceedings. Biological sciences*, 259(1354), 43–47. <https://doi.org/10.1098/rspb.1995.0007>
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Dean, P. (2001). Developmental dyslexia: the cerebellar deficit hypothesis. *Trends in Neurosciences*, 24(9), 508–511.
- Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Miles, T. R. (1993). Feasibility study for the development of a computerised screening test for dyslexia in adults. Report OL176, Department of the Employment.

- Nielsen, K., Abbott, R., Griffin, W., Lott, J., Raskind, W., & Berninger, V. W. (2016). Evidence-based reading and writing assessment for dyslexia in adolescents and young adults. *Learning disabilities (Pittsburgh, Pa.)*, 21(1), 38.
- Nijakowska, J. (2010). *Dyslexia in the Foreign Language Classroom*. Multilingual Matters.
- Nopola-Hemmi, J., Myllyluoma, B., Haltia, T., Taipale, M., Ollikainen, V., Ahonen, T., Voutilainen, A., Kere, J., & Widén, E. (2001). A dominant gene for developmental dyslexia on chromosome 3. *Journal of medical genetics*, 38(10), 658–664. <https://doi.org/10.1136/jmg.38.10.658>
- North, A. C., Hargreaves, D. J., & Hargreaves, J. J. (2004). Uses of music in everyday life. *Music Perception*, 22(1), 41–77. <https://doi.org/10.1525/mp.2004.22.1.41>
- Norton, E. S., Beach, S. D., & Gabrieli, J. DE. (2014). Neurobiology of dyslexia. *Current Opinion in Neurobiology*, 30C, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2014.09.007>.
- Nunes, T., & Bryant, P. (2013). *Handbook of Children's Literacy*. Springer Science & Business Media.
- Ott, P. (1997). *How to Detect and Manage Dyslexia: A Reference and Resource Manual*.
- Overy, K. (2003). Dyslexia and Music: From Timing Deficits to Music Intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), σσ. 497-505. doi:10.1196/annals.1284.060
- Overy, K., Nicolson, R. I., Fawcett, A. J., & Clarke, E. F. (2003). Dyslexia and Music: Measuring musical timing skills. *Dyslexia*, 9(1), σσ. 18-36. doi:10.1002/dys.233
- Pagnamenta, A. T., Bacchelli, E., de Jonge, M. V., Mirza, G., Scerri, T. S., Minopoli, F., Chiocchetti, A., Ludwig, K. U., Hoffmann, P., Paracchini, S., Lowy, E., Harold, D. H., Chapman, J. A., Klauck, S. M., Poustka, F., Houben, R. H., Staal, W. G., Ophoff, R. A., O'Donovan, M. C., Williams, J., ... International Molecular Genetic Study Of Autism Consortium (2010). Characterization of a family with rare deletions in CNTNAP5 and

- DOCK4 suggests novel risk loci for autism and dyslexia. *Biological psychiatry*, 68(4), 320–328. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2010.02.002>
- Palombo. 2001. cited in McNulty, M. A. 2003. Dyslexia and the life course, *Journal of Learning Disabilities* 36, no. 4: 363–381.
- Pammer, K. (2014). Brain mechanisms and reading remediation: More questions than answers. *Scientifica*, 2014, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2014/802741>.
- Papagiannopoulou, E. A., & Lagopoulos, J. (2016). Resting State EEG Hemispheric Power Asymmetry in Children with Dyslexia. *Frontiers in pediatrics*, 4, 11. <https://doi.org/10.3389/fped.2016.00011>
- Paracchini, S., Thomas, A., Castro, S., Lai, C., Paramasivam, M., Wang, Y., Keating, B. J., Taylor, J. M., Hacking, D. F., Scerri, T., Francks, C., Richardson, A. J., Wade-Martins, R., Stein, J. F., Knight, J. C., Copp, A. J., Loturco, J., & Monaco, A. P. (2006). The chromosome 6p22 haplotype associated with dyslexia reduces the expression of KIAA0319, a novel gene involved in neuronal migration. *Human molecular genetics*, 15(10), 1659–1666. <https://doi.org/10.1093/hmg/ddl089>
- Park, H. R., Badzakova-Trajkov, G., & Waldie, K. E. (2012). Brain activity in bilingual developmental dyslexia: an fMRI study. *Neurocase*, 18(4), 286–297. <https://doi.org/10.1080/13554794.2011.588182>
- Parrila, R., Georgiou, G., & Corkett, J. (2007). University students with a significant history of reading difficulties: what is and is not compensated? *Exceptionality Education International*, 17, 195–220.
- Pasquini, E. S., Corriveau, K. H., & Goswami, U. (2007). Auditory processing of amplitude envelope rise time in adults diagnosed with developmental dyslexia. *Scientific Studies of Reading*, 11, 259–286.

- Patel, A. D. (2011). Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA Hypothesis. *Frontiers in Psychology*, 2(142), σ. 142. doi:10.3389/fpsyg.2011.00142
- Patel, A. D. (2012). Language, music, syntax and the brain. *Nature Neurosci.*, 6(7), σσ. 674-681. doi:10.1038/nn1082
- Paulesu, E., Démonet, 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 (New York, N.Y.)*, 291(5511), 2165–2167. <https://doi.org/10.1126/science.1057179>
- Pavey, B. (2007). *The Dyslexia-Friendly Primary School: A Practical Guide for Teachers*.
- Payne, G. H., Miles, T. R., & Wheeler, T. J. (2007). Does the DDAT programme provide a cure for dyslexia? Results from the Bangor Dyslexia Test. *Dyslexia Review*, 19(1), 7–12.
- Pecini, C., Biagi, L., Brizzolara, D., Cipriani, P., Di Lieto, M. C., Guzzetta, A., Tosetti, M., & Chilosi, A. M. (2011). How many functional brains in developmental dyslexia? When the history of language delay makes the difference. *Cognitive and behavioral neurology : official journal of the Society for Behavioral and Cognitive Neurology*, 24(2), 85–92. <https://doi.org/10.1097/WNN.0b013e318222a4c2>
- Pennington B. F. (1999). Toward an integrated understanding of dyslexia: genetic, neurological, and cognitive mechanisms. *Development and psychopathology*, 11(3), 629–654. <https://doi.org/10.1017/s0954579499002242>
- Perera, H., Shiratuddin, M. F., & Wong, K. W. (2018). Review of EEG-based pattern classification frameworks for dyslexia. *Brain informatics*, 5(2), 4. <https://doi.org/10.1186/s40708-018-0079-9>
- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. *Annu. Rev. Psychol.*, 56, 89-114.

Perfetti, C. A. (1985). *Reading ability*. New York: Oxford University Press.

Perfetti, C. A. (1988). Verbal efficiency in reading ability. In M. Daneman, G. E. Mackinnon, & T. G. Waller (Eds.), *Reading research: Advances in theory and practice*, 6 (pp. 109–143). Academic Press.

Pernet, C. R., Poline, J. B., Demonet, J. F., & Rousselet, G. A. (2009). Brain classification reveals the right cerebellum as the best biomarker of dyslexia. *BMC neuroscience*, 10, 67. <https://doi.org/10.1186/1471-2202-10-67>

Perrachione, T. K., Del Tufo, S. N., Winter, R., Murtagh, J., Cyr, A., Chang, P., ... & Gabrieli, J. D. (2016). Dysfunction of rapid neural adaptation in dyslexia. *Neuron*, 92(6), 1383–1397.

Peters, L., & Ansari, D. (2019). Are specific learning disorders truly specific, and are they disorders? *Trends in Neuroscience and Education*, 17, Article 100115. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2019.100115>

Peters, L., Bulthé, J., Daniels, N., Op de Beeck, H., & De Smedt, B. (2018). Dyscalculia and dyslexia: Different behavioral, yet similar brain activity profiles during arithmetic. *NeuroImage. Clinical*, 18, 663–674. <https://doi.org/10.1016/j.nicl.2018.03.003>

Petryshen, T. L., Kaplan, B. J., Hughes, M. L., Tzenova, J., & Field, L. L. (2002). Supportive evidence for the DYX3 dyslexia susceptibility gene in Canadian families. *Journal of medical genetics*, 39(2), 125–126. <https://doi.org/10.1136/jmg.39.2.125>

Peynirciog˘lu, Z. F., Tekcan, A. I., Wagner, J. L., Baxter, T. L., & Shaffer, S. D. (1998). Name or hum that tune: feeling of knowing for music. *Mem. Cogn.* 26, 1131–1137. doi: 10.3758/BF03201190

Peyrin, C., Lallier, M., Démonet, J. F., Pernet, C., Baci, M., Le Bas, J. F., & Valdois, S. (2012). Neural dissociation of phonological and visual attention span disorders in

- developmental dyslexia: fMRI evidence from two case reports. *Brain and language*, 120(3), 381–394. <https://doi.org/10.1016/j.bandl.2011.12.015>
- Pino, M., & Mortari, L. (2014). The inclusion of students with dyslexia in higher education: A systematic review using narrative synthesis. *Dyslexia*, 20(4), 346–369. <https://doi.org/10.1002/dys.1484>.
- Platel, H. (2005). Functional neuroimaging of semantic and episodic musical memory. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* 1060, 136–147. doi: 10.1196/annals.1360.010
- Platel, H., Price, C., Baron, J. C., Wise, R., Lambert, J., Frackowiak, R. S., ... & Eustache, F. (1997). The structural components of music perception. A functional anatomical study. *Brain: a journal of neurology*, 120(2), 229–243.
- Plaza, M., Robert-Jahier, A. M., Gatignol, P., & Oudry, M. (2008). *Phonolec adolescents-adultes*. Magny en Vexin, France: Adeprio.
- Plomin, R., & Kovas, Y. (2005). Generalist genes and learning disabilities. *Psychological bulletin*, 131(4), 592–617. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.131.4.592>
- Poldrack, R. A., Baker, C. I., Durnez, J., Gorgolewski, K. J., Matthews, P. M., Munafò, M. R., Nichols, T. E., Poline, J. B., Vul, E., & Yarkoni, T. (2017). Scanning the horizon: towards transparent and reproducible neuroimaging research. *Nature reviews. Neuroscience*, 18(2), 115–126. <https://doi.org/10.1038/nrn.2016.167>
- Prestes, M. R. D., & Feitosa, M. A. G. (2015). Theories of dyslexia: Support by changes in auditory perception. *PsicologiaTeoria and Pesquisa*, 32(24), 1-9.
- Protopapas, A. (2014). From temporal processing to developmental language disorders: Mind the gap. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1634), 20130090.

- Provazza, S., Adams, A. M., Giofrè, D., & Roberts, D. J. (2019). Double trouble: visual and phonological impairments in English dyslexic readers. *Frontiers in psychology*, 10, 2725.
- Proverbio, A. M., & De Benedetto, F. (2018). Auditory enhancement of visual memory encoding is driven by emotional content of the auditory material and mediated by superior frontal cortex. *Biological psychology*, 132, 164-175.
- Qian, Y., & Bi, H. Y. (2015). The effect of magnocellular-based visual-motor intervention on Chinese children with developmental dyslexia. *Frontiers in psychology*, 6, 1529. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01529>
- Que, Y., Zheng, Y., Hsiao, J. H., & Hu, X. (2020). Exploring the Effect of Personalized Background Music on Reading Comprehension. In *Proceedings of the ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries in 2020*, 57-66.
- Quintana, D. S., & Williams, D. R. (2018). Bayesian alternatives for common null-hypothesis significance tests in psychiatry: a non-technical guide using JASP. *BMC psychiatry*, 18(1), 178. <https://doi.org/10.1186/s12888-018-1761-4>
- Quiroga, C. V., Janosz, M., Bisset, S., & Morin, A. J. (2013). Early adolescent depression symptoms and school dropout: mediating processes involving self-reported academic competence and achievement. *Journal of Educational Psychology*, 105(2), 552.
- Rabin, M., Wen, X. L., Hepburn, M., Lubs, H. A., Feldman, E., & Duara, R. (1993). Suggestive linkage of developmental dyslexia to chromosome 1p34-p36. *Lancet (London, England)*, 342(8864), 178. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(93\)91384-x](https://doi.org/10.1016/0140-6736(93)91384-x)
- Ramus, F. (2003). Developmental dyslexia: specific phonological deficit or general sensorimotor dysfunction? *Current Opinion in Neurobiology*, 13(2), 212–218.
- Ramus, F. (2004). Neurobiology of dyslexia: a reinterpretation of the data. *TRENDS in Neurosciences*, 27(12), 720-726.

- Ramus, F., Altarelli, I., Jednoróg, K., Zhao, J., & Scotto di Covella, L. (2018). Neuroanatomy of developmental dyslexia: Pitfalls and promise. *Neuroscience and biobehavioral reviews*, 84, 434–452. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2017.08.001>
- Ransby, M. J., & Swanson, H. L. (2003). Reading comprehension skills of young adults with childhood diagnoses of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 36(6), 538–555.
- Raskind, M. H., Goldberg, R. J., Higgins, E. L. & Herman, K. L. (1999). Patterns of change and predictors of success in individuals with learning disabilities: Results from a twenty-year longitudinal study. *Learning Disabilities Research & Practice*. 14 (1), 35-49.
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., and Ky, C. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature* 365:611. doi: 10.1038/365611a0
- Ray, N., Fowler, S., Stein, J., (2005). Yellow filters can improve magnocellular function: motion sensitivity, convergence, accommodation, and reading. *Annals Academy of Sciences*. N.Y. (283–293)
- Re, A. M., Tressoldi, P. E., Cornoldi, C., & Lucangeli, D. (2011). Which tasks best discriminate between dyslexic university students and controls in a transparent language? *Dyslexia*, 17(3), 227–241.
- Reid, G. & Kirk, J. (2001). *Dyslexia in Adults: Education and Employment*, U.K: John Wiley & Sons Ltd.
- Reid, G., Soler, J., & Wearmouth, J. (2003). *Meeting Difficulties in Literacy Development: Research, Policy and Practice*. Routledge.
- Reiner, O., Coquelle, F. M., Peter, B., Levy, T., Kaplan, A., Sapir, T., Orr, I., Barkai, N., Eichele, G., & Bergmann, S. (2006). The evolving doublecortin (DCX) superfamily. *BMC genomics*, 7, 188. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-7-188>

- Reynolds, A. E., & Caravolas, M. (2016). Evaluation of the Bangor Dyslexia Test (BDT) for use with Adults. *Dyslexia (Chichester, England)*, 22(1), 27–46. <https://doi.org/10.1002/dys.1520>
- Rezvani, Z., Zare, M., Žarić, G., Bonte, M., Tijms, J., Van der Molen, M. W., & González, G. F. (2019). Machine learning classification of dyslexic children based on EEG local network features. *BioRxiv*, 569996.
- Rice, M., & Brooks, G. (2004). *Developmental dyslexia in adults: a research review*. London: National Research and Development Centre for adult literacy and numeracy.
- Richardson, F. M., Ramsden, S., Ellis, C., Burnett, S., Megnin, O., Catmur, C., Schofield, T. M., Leff, A. P., & Price, C. J. (2011). Auditory short-term memory capacity correlates with gray matter density in the left posterior STS in cognitively normal and dyslexic adults. *Journal of cognitive neuroscience*, 23(12), 3746–3756. https://doi.org/10.1162/jocn_a.00060
- Richardson, U., Thomson, J. M., Scott, S. K., & Goswami, U. (2004). Auditory processing skills and phonological representation in dyslexic children. *Dyslexia*, 10(3), 215–233.
- Richlan, F., Kronbichler, M., & Wimmer, H. (2009). Functional abnormalities in the dyslexic brain: a quantitative meta-analysis of neuroimaging studies. *Human brain mapping*, 30(10), 3299–3308. <https://doi.org/10.1002/hbm.20752>
- Riddick, B., Sterling, C., Farmer, M., & Morgan, S. (1999). Self-esteem and anxiety in the educational histories of adult dyslexic students. *Dyslexia*, 5(4), 227–248.
- Rietveld, C. A., Medland, S. E., Derringer, J., Yang, J., Esko, T., Martin, N. W., Westra, H. J., Shakhbazov, K., Abdellaoui, A., Agrawal, A., Albrecht, E., Alizadeh, B. Z., Amin, N., Barnard, J., Baumeister, S. E., Benke, K. S., Bielak, L. F., Boatman, J. A., Boyle, P. A., Davies, G., ... Koellinger, P. D. (2013). GWAS of 126,559 individuals identifies genetic

- variants associated with educational attainment. *Science (New York, N.Y.)*, 340(6139), 1467–1471. <https://doi.org/10.1126/science.1235488>
- Rimfeld, K., Kovas, Y., Dale, P., & Plomin, R. (2015). Pleiotropy across academic subjects at the end of compulsory education OPEN. *Scientific Reports*, 5. 10.1038/srep11713.
- Rippon, G., & Brunswick, N. (2000). Trait and state EEG indices of information processing in developmental dyslexia. *International journal of psychophysiology : official journal of the International Organization of Psychophysiology*, 36(3), 251–265. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(00\)00075-1](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(00)00075-1)
- Ritchie, S. J., & Bates, T. C. (2013). Enduring links from childhood mathematics and reading achievement to adult socioeconomic status. *Psychological Science*, 24(7), 1301–1308. <https://doi.org/10.1177/0956797612466268>
- Riva, D., & Giorgi, C. (2000). The cerebellum contributes to higher functions during development: Evidence from a series of children surgically treated for posterior fossa tumours. *Brain*, 123, 1051-1061
- Robbins, K. A., Touryan, J., Mullen, T., Kothe, C., & Bigdely-Shamlo, N. (2020). How Sensitive Are EEG Results to Preprocessing Methods: A Benchmarking Study. *IEEE transactions on neural systems and rehabilitation engineering : a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 28(5), 1081–1090. <https://doi.org/10.1109/TNSRE.2020.2980223>
- Robson, C., & McCartan, K. (2016). *Real World Research*. Wiley
- Rodarte-Luna, B., & Sherry, A. (2008). Sex differences in the relation between statistics anxiety and cognitive/ learning strategies. *Contemporary Educational Psychology*, 33(2), 327–344.
- Rosenberg-Lee, M., Ashkenazi, S., Chen, T., Young, C. B., Geary, D. C., & Menon, V. (2015). Brain hyper-connectivity and operation-specific deficits during arithmetic problem

- solving in children with developmental dyscalculia. *Developmental science*, 18(3), 351–372. <https://doi.org/10.1111/desc.12216>
- Rueda Sánchez, M. I., & Sánchez Miguel, E. (2011). Evolución de la conciencia fonológica de alumnos disléxicos, evaluados 20 años después de ser diagnosticados. In J. M. Román, M. A. Carbonero, & J. D. Valdivieso (Eds.), *Educación, Aprendizaje y Desarrollo en una sociedad multicultural*. Madrid: Ediciones de la Asociación Nacional de Psicología y Educación.
- Rüsseler, J., Ye, Z., Gerth, I., Szycik, G. R., & Münte, T. F. (2018). Audio-visual speech perception in adult readers with dyslexia: an fMRI study. *Brain imaging and behavior*, 12(2), 357–368. <https://doi.org/10.1007/s11682-017-9694-y>
- Sabet, S., Pouretamad, H., Jafarzadehpur, E. & Hassanabadi, H., (2013). Improvement of reading performance through vision therapy. *Adv. Cogn. Sci.* (1–11)
- Salamé, P., & Baddeley, A. D. (1989). Effects of background music on phonological short-term memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology A: Human Experimental Psychology*, 41(1-A), 107–122. <https://doi.org/10.1080/14640748908402355>
- Sánchez, E., & García, J. R. (2009). The relation of knowledge of textual integration devices to expository text comprehension under different assessment conditions. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 22(9), 1081–1108. <https://doi.org/10.1007/s11145-008-9145-7>The.
- Sánchez, E., García, J. R., & Bustos, A. (2017). Does rhetorical competence moderate the effect of rhetorical devices on the comprehension of expository texts beyond general comprehension skills? *Reading and Writing*, 30(3), 439–462. <https://doi.org/10.1007/s11145-016-9684-2>.
- Santosa, H., Hong, M. J., & Hong, K. S. (2014). Lateralization of music processing with noises in the auditory cortex: an fNIRS study. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8, 418.

- Savill, N. J., & Thierry, G. (2012). Decoding ability makes waves in reading: deficient interactions between attention and phonological analysis in developmental dyslexia. *Neuropsychologia*, 50(7), 1553–1564. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2012.03.008>
- Scerri, T. S., & Schulte-Körne, G. (2010). Genetics of developmental dyslexia. *European child & adolescent psychiatry*, 19(3), 179–197. <https://doi.org/10.1007/s00787-009-0081-0>
- Schumacher, J., König, I. R., Schröder, T., Duell, M., Plume, E., Propping, P., Warnke, A., Libertus, C., Ziegler, A., Müller-Myhsok, B., Schulte-Körne, G., & Nöthen, M. M. (2008). Further evidence for a susceptibility locus contributing to reading disability on chromosome 15q15-q21. *Psychiatric genetics*, 18(3), 137–142. <https://doi.org/10.1097/YPG.0b013e3282fb7fc6>
- Scott, R. (2003). A counsellor's perspective on dyslexia. In *Dyslexia Included: A Whole School Approach*, ed. M. Thomson, 82–92. London: David Fulton Publishers Ltd.
- Sebastian, C., & Yasin, I. (2008). Speech versus tone processing in compensated dyslexia: Discrimination and lateralization with a dichotic mismatch negativity (MMN) paradigm. *International journal of psychophysiology: official journal of the International Organization of Psychophysiology*. 70. 115-26. [10.1016/j.ijpsycho.2008.08.004](https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2008.08.004).
- Sedeeq, A., & Romano, D. (2014). Brain controlled games: Concepts and classifiers. In *Proceedings of the 50th Annual Convention of the Artificial Intelligence and Simulation Behaviour* (pp. 1-5).
- Selzam, S., Dale, P. S., Wagner, R. K., DeFries, J. C., Cederlöf, M., O'Reilly, P. F., Krapohl, E., & Plomin, R. (2017). Genome-Wide Polygenic Scores Predict Reading Performance Throughout the School Years. *Scientific studies of reading : the official journal of the Society for the Scientific Study of Reading*, 21(4), 334–349. <https://doi.org/10.1080/10888438.2017.1299152>

- Serniclaes, W., Van Heghe, S., Mousty, P., & Carre, R. (2004, May). Allophonic mode of speech perception in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87(4), σσ. 336-361. doi:10.1016/j.jecp.2004.02.001
- Shany, M., & Breznitz, Z. (2011). Rate- and accuracy-disabled subtype profiles among adults with dyslexia in the Hebrew orthography. *Developmental neuropsychology*, 36(7), 889–913. <https://doi.org/10.1080/87565641.2011.606410>
- Share, D. L. (2008). On the Anglocentricities of current reading research and practice: The perils of overreliance on an “outlier” orthography. *Psychological Bulletin*, 134(4), 584–615. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.134.4.584>.
- Shastry, B. S. (2007). Developmental dyslexia: an update. *Journal of Human Genetics*, 52(2), 104–109.
- Shaul, S., Arzouan, Y., & Goldstein, A. (2012). Brain activity while reading words and pseudo-words: A comparison between dyslexic and fluent readers. *International Journal of Psychophysiology*, 84(3), 270–276. <https://doi.org/info:doi/>
- Shaw, G. L., Silverman, D. J., & Pearson, J. C. (1985). Model of cortical organization embodying a basis for a theory of information processing and memory recall. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 82(8), 2364-2368.
- Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Pugh, K. R., Mencl, W. E., Fulbright, R. K., Skudlarski, P., ... others. (2002). Disruption of posterior brain systems for reading in children with developmental dyslexia. *Biological Psychiatry*, 52(2), 101–110.
- Shaywitz, S. (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. (2005). Dyslexia (specific reading disability). *Biological psychiatry*, 57(11), 1301–1309. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2005.01.043>

- Shaywitz, S. E., Fletcher, J. M., Holahan, J. M., Shneider, A. E., Marchione, K. E., Stuebing, K. K., Francis, D. J., Pugh, K. R., & Shaywitz, B. A. (1999). Persistence of dyslexia: the Connecticut longitudinal study at adolescence. *Pediatrics*, 104(6), 1351–1359.
- Silveri, M. C., & Misciagna, S. (2000). Language, memory, and the cerebellum. *Journal of Neurolinguistics*, 13(2), 129-143.
- Simmons, F., & Singleton, C. (2000). The reading comprehension abilities of dyslexic students in higher education. *Dyslexia*, 6(3), 178–192.
- Singleton, C. (2004). Using computer-based assessment to identify learning problems. In L. Florian, & J. Hegarty (Eds.) *Eds., ICT and special educational needs* (pp. 46–63), pp.. Milton Keynes, UK: Open University Press.
- Singleton, C., Horne, J. K., & Thomas, K. V. (2004). *LADS administrator's manual*. Beverley: Lucid Research Ltd.
- Smith-Spark, J. H., & Fisk, J. E. (2007). Working memory functioning in developmental dyslexia. *Memory* (Hove, England), 15(1), 34–56.
<https://doi.org/10.1080/09658210601043384>
- Snow, C. (2002). *Reading for understanding: toward an R&D program in reading comprehension*. Rand Corporation, p 156.
- Snowling, M. J. (1995). Phonological processing and developmental dyslexia. *Journal of Research in Reading*, 18, 132-138.
- Snowling, M. J. (2000). *Dyslexia* (2nd ed.). Blackwell Publishing.
- Snowling, M. J. (2008). Specific Disorders and Broader Phenotypes: The Case of Dyslexia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(1), 142–156.
<https://doi.org/10.1080/17470210701508830>

- Sousou, S. D. (1997). Effects of melody and lyrics on mood and memory. *Percept. Mot. Skills* 85, 31–40. doi: 10.2466/pms.1997.85.1.31
- Spironelli, C., & Angrilli, A. (2009). Developmental aspects of automatic word processing: language lateralization of early ERP components in children, young adults and middle-aged subjects. *Biological psychology*, 80(1), 35-45.
- Sprenger-Charolles, L., Colé, P., Béchennec, D., & Kipffer- Piquard, A. (2005). French normative data on reading and related skills from EVALEC, a new computerized battery of tests (end Grade 1, Grade 2, Grade 3, and Grade 4). *Revue Européenne de Psychologie Appliquée*, 55, 157–186.
- Sprenger-Charolles, L., Siegel, L. S., Jiménez, J. E., & Ziegler, J. C. (2011). Prevalence and reliability of phonological, surface, and mixed profiles in dyslexia: A review of studies conducted in languages varying in orthographic depth. *Scientific Studies of Reading*, 6, 498–501.
- Sprooten, E., Rasgon, A., Goodman, M., Carlin, A., Leibu, E., Lee, W. H., & Frangou, S. (2017). Addressing reverse inference in psychiatric neuroimaging: Meta-analyses of task-related brain activation in common mental disorders. *Human brain mapping*, 38(4), 1846–1864. <https://doi.org/10.1002/hbm.23486>
- Squire, L. R., Berg, D., Bloom, F. E., du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (2012). *Fundamental Neuroscience*. Cambridge, MA: Academic press.
- Stanovich, K. E. (1986). Cognitive processes and the reading problems of learning-disabled children: evaluating the assumption of specificity. *Psychological and educational perspectives on learning disabilities*, 1 (1985), 87-131.
- Stefanics, G., Fosker, T., Huss, M., Mead, N., Szucs, D., & Goswami, U. (2011). Auditory sensory deficits in developmental dyslexia: A longitudinal ERP study. *Neuroimage*, 57, 723-732.

- Stein, C. M., Lu, Q., Elston, R. C., Freebairn, L. A., Hansen, A. J., Shriberg, L. D., Taylor, H. G., Lewis, B. A., & Iyengar, S. K. (2011). Heritability estimation for speech-sound traits with developmental trajectories. *Behavior genetics*, 41(2), 184–191. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9378-5>
- Stein, J. (2001). The magnocellular theory of developmental dyslexia. *Dyslexia*, 7(1), 12–36.
- Stein, J., & Glickstein, M. (1992). Role of the cerebellum in visual guidance of movement. *Physiological Reviews*, 72(4), 967–1017.
- Stein, J., & Kapoula, Z. (Eds.). (2012). *Visual aspects of dyslexia*. Oxford University Press.
- Stein, J.F., Talcott, J., & Witton, C., 2001. The sensorimotor basis of developmental dyslexia. In: A.J. Fawcett (Ed.), *Dyslexia: theory and good practice*. Whurr, Lond
- Steinbrink, C., Vogt, K., Kastrup, A., Müller, 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(13), 3170–3178. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.07.015>
- Stoodley, C. J., & Stein, J. F. (2011). The cerebellum and dyslexia. *Cortex*, 47, 101–116.
- Stoodley, C. J., & Stein, J. F. (2013). Cerebellar function in developmental dyslexia. *Cerebellum*, 12(2), 267–276.
- Stoodley, C. J., Hill, P. R., Stein, J. F., & Bishop, D. V. (2006). Auditory event-related potentials differ in dyslexics even when auditory psychophysical performance is normal. *Brain research*, 1121(1), 190–199. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2006.08.095>
- Stoodley, C. J., Hill, P. R., Stein, J. F., & Bishop, D. V. M. (2006). Auditory event-related potentials differ in dyslexics even when auditory psychophysical performance is normal. *Brain Research*, 1121, 190-199.

- Stuart, G. W., McAnally, K. I., McKay, A., Johnston, M., & Castles, A. (2006). A test of the magnocellular deficit theory of dyslexia in an adult sample. *Cognitive Neuropsychology*, 23, 1215-1229.
- Suárez-Coalla, P., & Cuetos, F. (2015). Reading difficulties in Spanish adults with dyslexia. *Annals of Dyslexia*, 65(1), 33–51.
- Sutherland, M. J., & Smith, C. D. (1991). Assessing literacy problems in mainstream schooling: A critique of three literacy screening tests. *Educational Review*, 43(1), 39–48. doi:10.1080/0013191910430104.
- Svensson, I., Nilsson, S., Wahlström, J., Jernås, M., Carlsson, L. M., & Hjelmquist, E. (2011). Familial dyslexia in a large Swedish family: a whole genome linkage scan. *Behavior genetics*, 41(1), 43–49. <https://doi.org/10.1007/s10519-010-9395-4>
- Swanson, H. L., & Hsieh, C.-J. (2009). Reading disabilities in adults: A selective meta-analysis of the literature. *Review of Educational Research*, 79(4), 1362–1390. <https://doi.org/10.3102/0034654309350931>.
- Taipale, M., Kaminen, N., Nopola-Hemmi, J., Haltia, T., Myllyluoma, B., Lyytinen, H., Muller, K., Kaaranen, M., Lindsberg, P. J., Hannula-Jouppi, K., & Kere, J. (2003). A candidate gene for developmental dyslexia encodes a nuclear tetratricopeptide repeat domain protein dynamically regulated in brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(20), 11553–11558. <https://doi.org/10.1073/pnas.1833911100>
- Talcott, J. B., Hansen, P. C., Assoku, E. L., & Stein, J. F. (2000). Visual motion sensitivity in dyslexia: evidence for temporal and energy integration deficits. *Neuropsychologia*, 38(7), 935–943. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(00\)00020-8](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(00)00020-8)

- Talcott, J. B., Witton, C., McClean, M., Hansen, P. C., Rees, A., Green, G. G. R. et al. (1999). Can sensitivity to auditory frequency modulation predict children's phonological and reading skills? *Neuroreport*, 10, 2045-2050.
- Tallal, P., Miller, S. L., Bedi, G., Byma, G., Wang, X., Nagarajan, S. S., Merzenich, M.M. (1996). Language Comprehension in Language-Learning Impaired Children Improved with Acoustically Modified Speech. *Science*, 271(5245), 81–84.
- Tallal, P., Miller, S., & Fitch, R. H. (1993). Neurobiological basis of speech: A case for the preeminence of temporal processing. In P. Tallal, A. M. Galaburda, R. R. Llinás, & C. von Euler (Eds.), *Annals of the New York Academy of Sciences: Vol. 682. Temporal information processing in the nervous system: Special reference to dyslexia and dysphasia* (p. 27–47). New York Academy of Sciences.
- Tamboer, P., Vorst, H. C. M., & Oort, F. J. (2016). Five describing factors of dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 49, 451–465. <https://doi.org/10.1177/0022219414558123>.
- Tandle, A., & Jog, N. (2015). *Classification of Artefacts in EEG Signal Recordings and Overview of Removing Techniques*.
- Tatum, W. O. (2014). *Handbook of EEG interpretation*. New York: Demos Medical.
- Taylor, J., & Rowe, B.J. (2012). The “Mozart Effect” and the Mathematical Connection. *Journal of College Reading and Learning*, 42, 51 - 66.
- Taylor, K. E., & Walter, J. (2003). Occupation choices of adults with and without symptoms of dyslexia. *Dyslexia*, 9, 177–185.
- Telkemeyer, S., Rossi, S., Koch, S. P., Nierhaus, T., Steinbrink, J., Poeppel, D., ... & Wartenburger, I. (2009). Sensitivity of newborn auditory cortex to the temporal structure of sounds. *Journal of Neuroscience*, 29(47), 14726-14733.

- Temple, E., Poldrack, R. A., Salidis, J., Deutsch, G. K., Tallal, P., Merzenich, M. M., & Gabrieli, J. D. (2001). Disrupted neural responses to phonological and orthographic processing in dyslexic children: an fMRI study. *Neuroreport*, 12(2), 299–307. <https://doi.org/10.1097/00001756-200102120-00024>
- Theodoridis, S. (2015). *Machine learning: a Bayesian and optimization perspective*. Academic press.
- Thoma, M., Ryf, S., and Ehlert, U. (2006). “Regulation of emotions by listening to music in emotional situations,” in the *Proceedings of the 9th International Conference of Music Perception, Cognition*, Zürich, 1088–1093.
- Thompson, J. M., & Goswami, U. (2008). Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: Auditory and motor rhythms link to reading and spelling. *Journal of Physiology-Paris*, 102(1-3), σσ. 120-129. doi:10.1016/j.jphysparis.2008.03.007
- Thompson, W. F., Schellenberg, E. G., & Husain, G. (2001). Arousal, mood, and the Mozart effect. *Psychol. Sci.* 12, 248–251. doi: 10.1111/1467-9280.00345
- Torgesen, J. K., Rashotte, C. A., & Alexander, A. (2001). Principles of fluency instruction in reading: Relationships with established empirical outcomes. In M. Wolf (Ed.), *Dyslexia, fluency, and the brain* (pp. 333–355). Parkton, MD: York Press.
- Torppa, M., Parrila, R., Niemi, P., Lerkkanen, M. K., Poikkeus, A. M., & Nurmi, J. E. (2013). The double deficit hypothesis in the transparent Finnish orthography: A longitudinal study from kindergarten to Grade 2. *Reading and Writing*, 26(8), 1353-1380.
- Trampush, J. W., Yang, M. L., Yu, J., Knowles, E., Davies, G., Liewald, D. C., Starr, J. M., Djurovic, S., Melle, I., Sundet, K., Christoforou, A., Reinvang, I., DeRosse, P., Lundervold, A. J., Steen, V. M., Espeseth, T., Räikkönen, K., Widen, E., Palotie, A., Eriksson, J. G., ... Lencz, T. (2017). GWAS meta-analysis reveals novel loci and genetic correlates for general

- cognitive function: a report from the COGENT consortium. *Molecular psychiatry*, 22(3), 336–345. <https://doi.org/10.1038/mp.2016.244>
- Tunmer, W. E., & Greaney, K. (2010). Defining Dyslexia. *Journal of Learning Disabilities*, 43(3), 229–243.
- Tzenova, J., Kaplan, B. J., Petryshen, T. L., & Field, L. L. (2004). Confirmation of a dyslexia susceptibility locus on chromosome 1p34-p36 in a set of 100 Canadian families. *American journal of medical genetics. Part B, Neuropsychiatric genetics : the official publication of the International Society of Psychiatric Genetics*, 127B(1), 117–124. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.20139>
- Uccelli, P., Barr, C. D., Dobbs, C. L., Galloway, E. P., Meneses, A., & Sánchez, E. (2015). Core academic language skills (CALS): an expanded operational construct and a novel instrument to chart school-relevant language proficiency in pre- and adolescent learners. *Applied Psycholinguistics*. <https://doi.org/10.1017/S014271641400006X>.
- Vaessen, A., Bertrand, D., Tóth, D., Csépe, V., Faísca, L., Reis, A., & Blomert, L. (2010). Cognitive development of fluent word reading does not qualitatively differ between transparent and opaque orthographies. *Journal of Educational Psychology*, 102(4), 827–842. <https://doi.org/10.1037/a0019465>
- Valdois, S., Bosse, M. L., & Tainturier, M. J. (2004). The cognitive deficits responsible for developmental dyslexia: review of evidence for a selective visual attentional disorder. *Dyslexia (Chichester, England)*, 10(4), 339–363. <https://doi.org/10.1002/dys.284>
- van Beinum, F. J., Schwippert, C. E., Been, P. H., van Leeuwen, T. H., & Kuijpers, C. T. L. (2005). Development and application of a /bAk-/–/dAk/ continuum for testing auditory perception within the Dutch longitudinal dyslexia study. *Speech Communication*, 47(1-2), 124–142. <https://doi.org/10.1016/j.specom.2005.04.003>

- Vanbinst, K., Ghesquiere, P., & De Smedt, B. (2014). Arithmetic strategy development and its domain-specific and domain-general cognitive correlates: A longitudinal study in children with persistent mathematical learning difficulties. *Research in developmental disabilities, 35*(11), 3001-3013.
- Vellutino, F. R., Fletcher, J. M., Snowling, M. J., & Scalton, D. M. (2004). Specific reading disability (dyslexia): what have we learned in the past four decades? *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 45*(1), 2–40.
- Vidyasagar, T. R., & Pammer, K. (2010). Dyslexia: a deficit in visuo-spatial attention, not in phonological processing. *Trends in cognitive sciences, 14*(2), 57–63.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.12.003>
- Vlachos, F., Papathanasiou, I., & Andreou, G. (2007). Cerebellum and Reading. *Folia Phoniatica et Logopaedica, 59*, 177-183.
- Wadsworth, S. J., Olson, R. K., & DeFries, J. C. (2010). Differential genetic etiology of reading difficulties as a function of IQ: an update. *Behavior genetics, 40*(6), 751–758.
<https://doi.org/10.1007/s10519-010-9349-x>
- Wang, Y., Paramasivam, M., Thomas, A., Bai, J., Kaminen-Ahola, N., Kere, J., Voskuil, J., Rosen, G. D., Galaburda, A. M., & Loturco, J. J. (2006). DYX1C1 functions in neuronal migration in developing neocortex. *Neuroscience, 143*(2), 515–522.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2006.08.022>
- Warmington, M., Stothard, S. E., & Snowling, M. J. (2013). Assessing dyslexia in higher education: The York Adult Assessment Battery–Revised. *Journal of Research in Special Educational Needs, 13*, 48–56.
- Watson, J., & Boman, P. (2005). Mainstreamed students with learning difficulties: Failing and underachieving in the secondary school. *Australian Journal of Learning Difficulties, 10*(2), 43–49. <https://doi.org/10.1080/19404150509546788>.

- Wenhui, L., Tingting, Y., & Liyan, G. (2017). The Mozart Effect of Phonological Processing in Children. *Journal of Shenyang Normal University (Social Science Edition)*, 03.
- Wimmer, H., Mayringer, H., & Landerl, K. (2000). The double-deficit hypothesis and difficulties in learning to read a regular orthography. *Journal of Educational Psychology*, 92(4), 668.
- Witton, C., Stein, J. F., Stoodley, C. J., Rosner, B. S., & Talcott, J. B. (2002). Separate influences of acoustic AM and FM sensitivity on the phonological decoding skills of impaired and normal readers. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 866-874.
- Witton, C., Talcott, J. B., Hansen, P. C., Richardson, A. J., Griffiths, T. D., Rees, A., . . . Green, G. R. (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *ScienceDirect*, 8(14), σσ. 791-797. doi:10.1016/S0960-9822(98)70320-3
- Witton, C., Talcott, J. B., Stoodley, C. J., & Stein, J. F. (2000). Frequency modulation, amplitude modulation and phonological ability in developmental dyslexia. *British Journal of Audiology*, 34, 123-124.
- Witton, C., Talcott, J., Hansen, P., Richardson, A., Griffiths, T., Rees, A., & Green, G., (1998). Sensitivity to dynamic auditory and visual stimuli predicts nonword reading ability in both dyslexic and normal readers. *Current Biology*. (791–797)
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (1999). The double-deficit hypothesis for the developmental dyslexia. *Journal of educational psychology*, 91(3), 415.
- Wolf, M., & Bowers, P. G. (2000). Naming-Speed Processes and Developmental Reading Disabilities: An Introduction to the Special Issue on the Double-Deficit Hypothesis. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 322–324.
- Wolf, M., Bowers, P. G., & Biddle, K. (2000). Naming-Speed Processes, Timing, and Reading: A Conceptual Review. *Journal of Learning Disabilities*, 33(4), 387–407.

- Wolfe, D. (1983). Effects of Music Loudness on Task Performance and Self-Report of College-Aged Students. *Journal of Research in Music Education*, 31(3), 191-201. Retrieved December 28, 2020, from <http://www.istor.org/stable/3345172>
- Wolff, P. H. (2002). Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15(1-2), 179–206. <https://doi.org/10.1023/A:1013880723925>
- Wolff, U., & Lundberg, I. (2003). A technique for group screening of dyslexia among adults. *Annals of Dyslexia*. 53, 324-339.
- Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain–computer interfaces for communication and control. *Clinical neurophysiology*, 113(6), 767-791.
- Wood, C., & Terrell, C. (1998). Pre-school phonological awareness and subsequent literacy development. *Journal of Educational Psychology*, 18(3), σσ. 253-274. doi:10.1080/0144341980180301
- World Health Organization. (1993). ICD Classification of Mental and Behavioral Disorders: Diagnostic Criteria for Research. Geneva, Switzerland.
- Yap, R., & van der Leij, A. (1993). Word processing in dyslexics: An automatic decoding deficit? *Reading and Writing*, 5, 261–279.
- Zainuddin, A. A., Mansor, W., Lee, K. Y., & Mahmoodin, Z. (2019). Performance of Extreme Learning Machine Kernels in Classifying EEG Signal Pattern of Dyslexic Children in Writing. *International Journal of Integrated Engineering*, 11(3).
- Zakopoulou, V., Vlaikou, A. M., Darsinou, M., Papadopoulou, Z., Theodoridou, D., Papageorgiou, K., ... & Michaelidis, T. M. (2019). Linking Early Life Hypothalamic–Pituitary–Adrenal Axis Functioning, Brain Asymmetries, and Personality Traits in Dyslexia: An Informative Case Study. *Frontiers in human neuroscience*, 13, 327.

- Zatorre, R. J., & Schönwiesner, M. (2011). Cortical speech and music processes revealed by functional neuroimaging. In *The Auditory Cortex* (pp. 657-677). Springer, Boston, MA.
- Ziegler, J. C., Bertrand, D., Toth, D., Csepe, V., Reis, A., Faísca, L., ... & Blomert, L. (2010). Orthographic depth and its impact on universal predictors of reading: A cross-language investigation. *Psychological Science*, 21(4), 551–559. <https://doi.org/10.1177/0956797610363406>.
- Zoccolotti, P., De Luca, M., Pace, E., Udica, A., Orlandi, M., & Spinelli, D. (1999). Markers of developmental surface dyslexia in a language (Italian) with high grapheme-phoneme correspondence. *Applied PsychoLinguistics*, 20(2), 191–216.
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and neural correlates of executive functioning in musicians and non-musicians. *PLoS One* 9:e99868. doi: 10.1371/journal.pone.0099868
- Βάμβουκας, Μ. (1998). *Εισαγωγή στην ψυχοπαιδαγωγική έρευνα και μεθοδολογία*. Αθήνα: Γρηγόρης.
- Βλάχος, Φ. (2010). Δυσλεξία: Μια συνθετική προσέγγιση αιτιολογικών θεωριών. *Hellenic Journal of Psychology*, 7, 205-240.
- Καλαντζή-Αζίζι, Α., & Ζαφειροπούλου, Μ. (2004). *Προσαρμογή στο σχολείο. Πρόληψη και αντιμετώπιση δυσκολιών*. Αθήνα: Ελληνικά Γράμματα
- Καραπέτσας, Α. Β. (1993). *Η Δυσλεξία στο Παιδί*. Αθήνα, Ελληνικά Γράμματα.
- Καραπέτσας, Α., & Λασκαράκη, Ε. (2018). Neuropsychology of Developmental Dyslexia: Assessment and Rehabilitation. *Paper presented at International Neuropsychological Society*. Prague.
- Καραπέτσας, Α., Λασκαράκη, Ε., & Ζυγούρης, Ν. (2014). Αξιολόγηση της μουσικής ακουστικότητας σε παιδιά με ειδικές μαθησιακές δυσκολίες. *Μουσικοπαιδαγωγικά*.

Νησιώτου Ι. (2011). Πλαστικότητα του Εγκεφάλου στην Παιδική Ηλικία. Στο Α. Καραπέτσας (Επιμ.) *Σύγχρονα θέματα νευροψυχολογίας* (σελ. 50-88). Βόλος: Εκδόσεις Εργαστηρίου Νευροψυχολογίας Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Παρασκευόπουλος, Ι. (1993). *Μεθοδολογία της Επιστημονικής Έρευνας*. Αθήνα: Πανεπιστημιακές σημειώσεις.

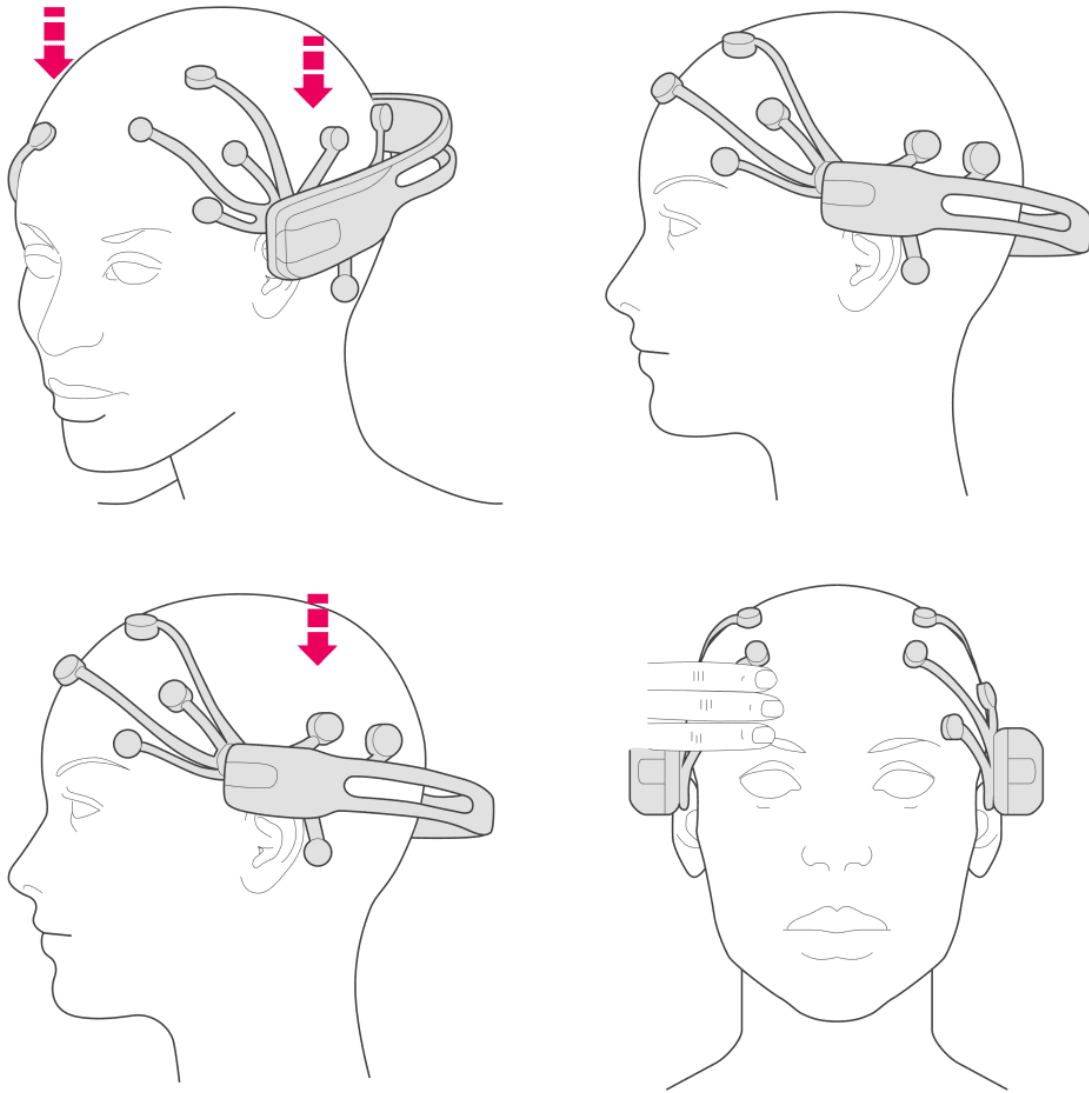
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

1. Συσκευή καταγραφής EEG 14 ηλεκτροδίων Emotiv EPOC+



Emotiv EPOC+

2. Τοποθέτηση συσκευής Emotiv EPOC+ στο τριχωτό κεφαλής



3. Οδηγίες τοποθέτησης συσκευής Emotiv EPOC+

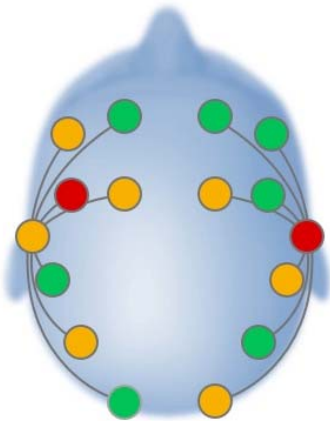


4. Ένδειξη ποσοστού συνδεσιμότητας συσκευής Emotiv EPOC+



 Emotiv EPOC+ 

John Doe ▾



Ensuring good contact quality

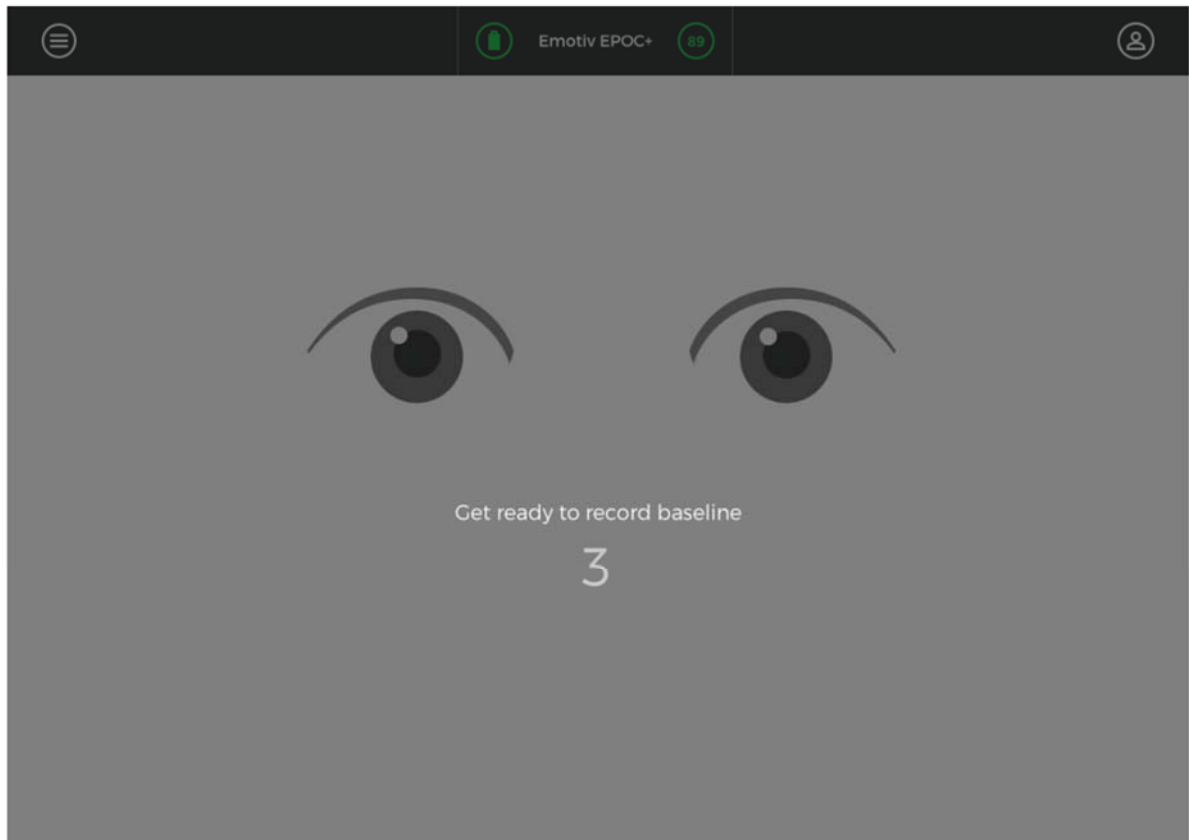
Work each sensor underneath hair to make contact with the scalp. If all sensors are black, first adjust the reference sensors (black circles) until they are green, and then adjust the other sensors.

You can access this screen at any time by clicking on the contact quality meter in the top middle of the application.

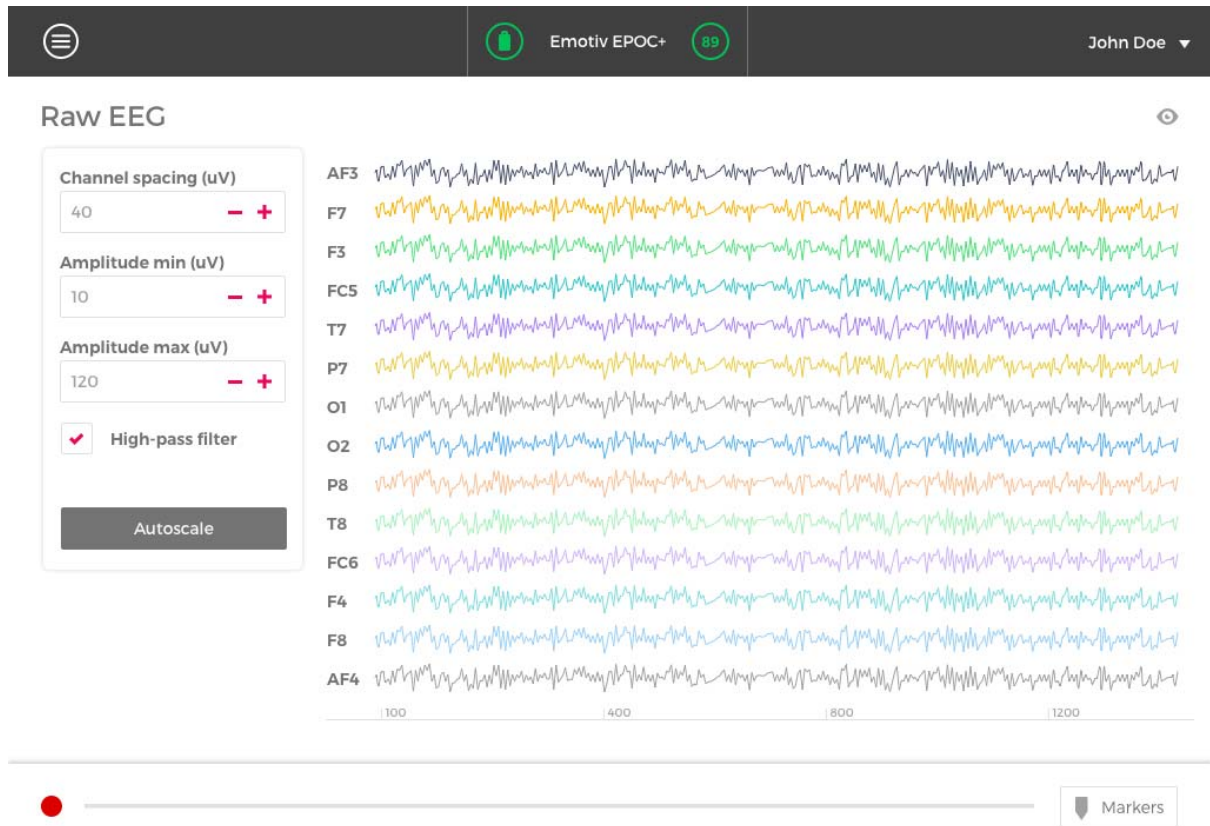
89%
CONTACT QUALITY

DONE

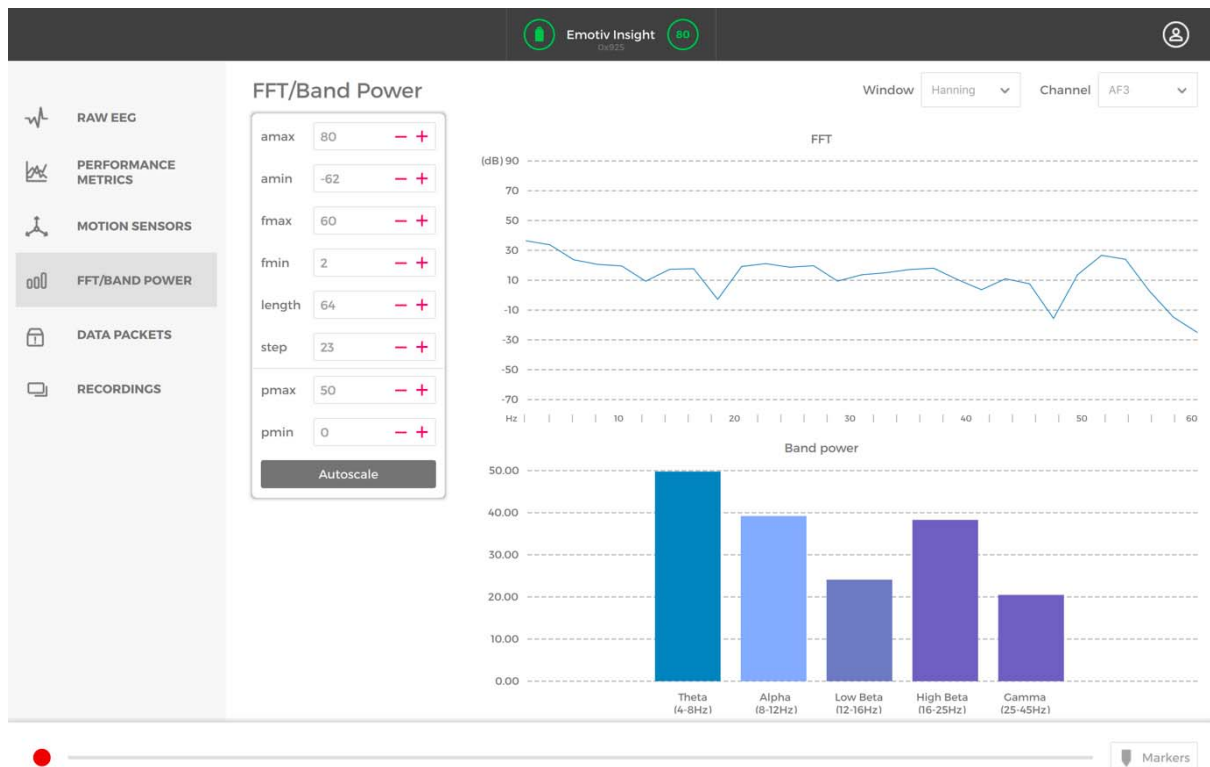
5. Αρχική καταγραφή EEG σε συνθήκη ηρεμίας (baseline)



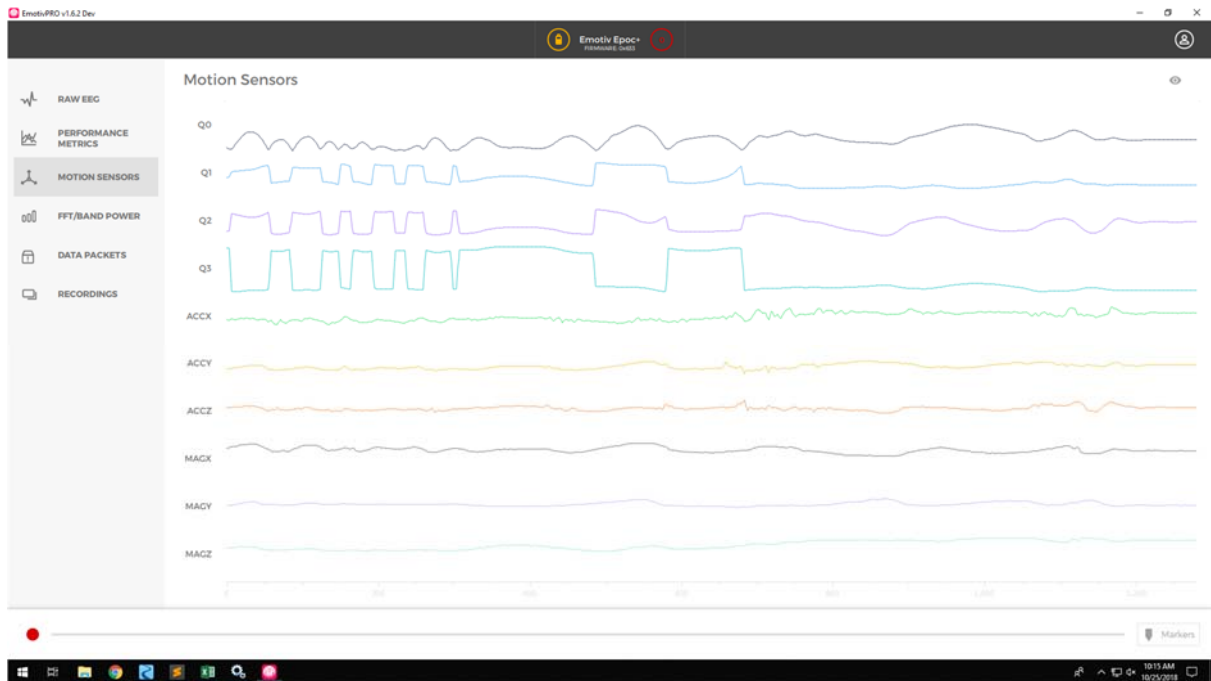
6. Παρουσίαση φασματικών κυμάτων ανά κανάλι καταγραφής EEG



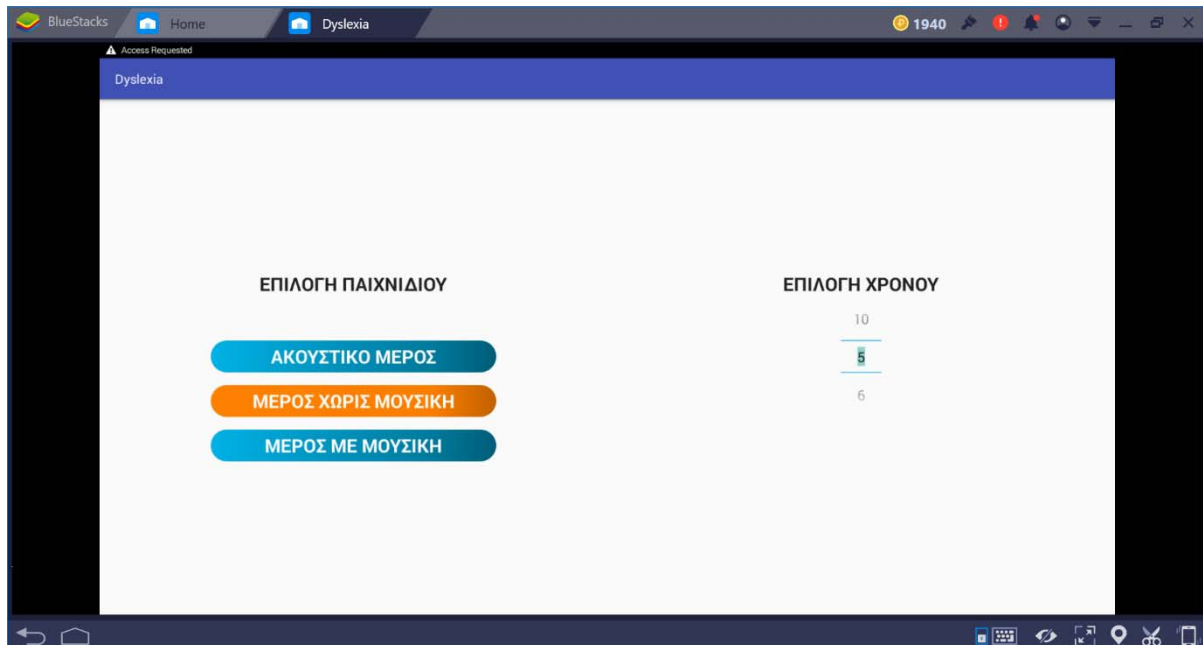
7. Παρουσίαση εγκεφαλικών ρυθμών

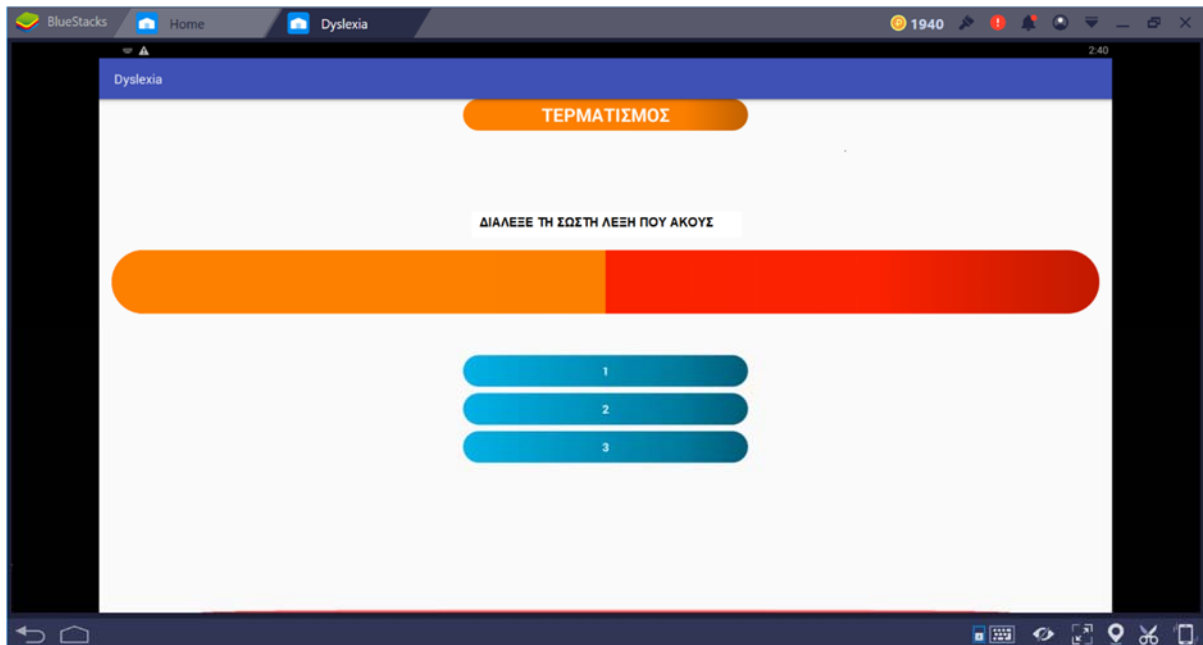


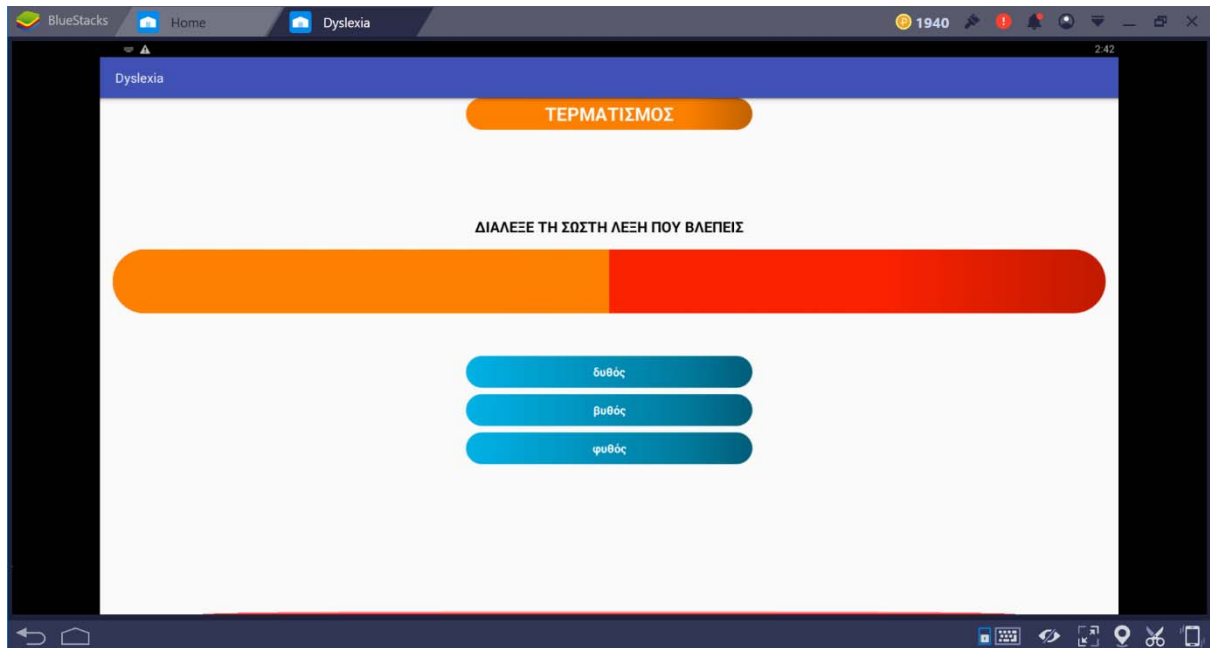
8. Παρουσίαση καταγραφής κινητικών αισθητήρων

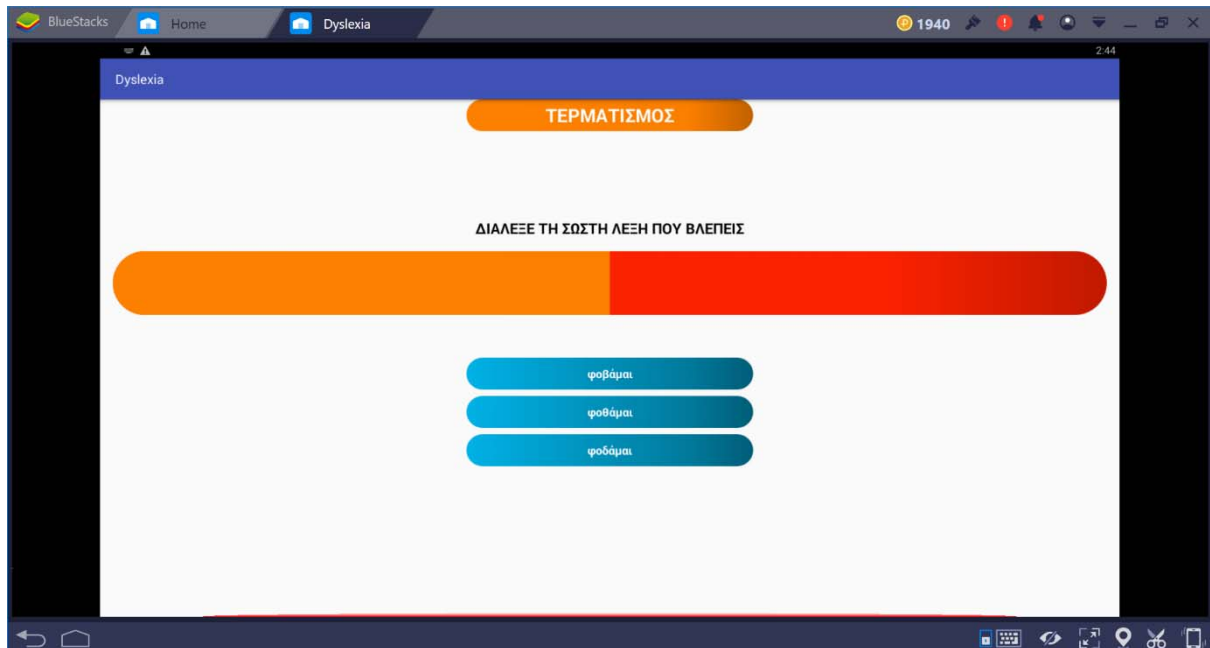


9. Εφαρμογή λογισμικού “Dyslexia” μέσω προγράμματος Bluestacks



10. 1^η πειραματική συνθήκη ακουστικής διάκρισης

11. 2^η πειραματική συνθήκη οπτικής αναγνώρισης

12. 3^η πειραματική συνθήκη οπτικής αναγνώρισης με παρουσία μουσικού ερεθίσματος

13. Μουσικό απόσπασμα Mozart - Sonata for Two Pianos στο D major, K. 448



Mozart - Sonata for Two Pianos στο D major, K. 448.mp3

14. Γλωσσικό υλικό στην πειραματική συνθήκη ακουστική διάκρισης

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που ακούς		
Ερώτηση	Λέξεις		
	1	2	3
παράδειγμα 1	φοβάμαι	φοθάμαι	φοδάμαι
παράδειγμα 2	κρεμμύδι	κρεμμύφι	κρεμμύβι
παράδειγμα 3	ναφθαλίνη	ναθφαλίνη	ναλθαφίνη
1	βυθός	φυθός	δυθός
2	βραβείο	δραδείο	θραδείο
3	βιβλιοθήκη	διδλιοθήκη	φιδλιοθήκη
4	αμφιβολία	αμβιφολία	αμφιλοβία
5	υδρόβιος	υβρόδιος	υδβόριος
6	βαρκούλα	ραβκούλα	καρβούλα
7	βαλβίδα	βαλίδα	αλβίδα
8	βαβυλωνία	βαυλωνία	αβυλωνία
9	βαρβαρότητα	βαραρότητα	αρβαρότητα
10	κλειδί	κλειβί	κλειθί
11	αντίδραση	αντίβραση	αντίθραση
12	καθοδήγηση	καθοβήγηση	καθοφήγηση
13	έβδομος	έδβομος	έβμοδος
14	σκουπιδιάρικο	σκουπιριάδικο	σκουδιτιάρικο
15	σιδηρόδρομος	σιδηρόρδομος	σιρηδόδρομος
16	δώδεκα	δώεκα	ώδεκα
17	δενδρύλιο	δενρύλιο	ενδρύλιο
18	διδασκαλία	ιδασκαλία	διασκαλία
19	θρόμβωση	δρόμβωση	βρόμβωση
20	μοχθηρός	μοχβηρός	μοχδηρός
21	βαθμοφόρος	βαδμοφόρος	βαφμοφόρος
22	θλιβερός	λθιβερός	βλιθερός
23	οφθαλμός	οφλαθμός	οθφαλμός

(συνέχεια)

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που ακούς		
Ερώτηση	Λέξεις		
	1	2	3
24	θρησκευτικός	ρθησκευτικός	σρηθκεφτικός
25	θεσμοθετώ	εσμοθετώ	θεσμοετώ
26	θεατράνθρωπος	εατράνθρωπος	θεατράνρωπος
27	βαθμοθηρία	βαμοθηρία	βαθμοηρία
28	φρυγανιά	θρυγανιά	δρυγανιά
29	θερμοφόρα	θερμοβόρα	θερμοδόρα
30	οδοντογλυφίδα	οδοντογλυθίδα	οδοντογλυβίδα
31	αμφιθέατρο	αφμιθέατρο	αμφιφέατρο
32	ξάδερφος	ξάδεφρος	ξάφεδρος
33	κινηματογράφος	κινηματογοφάρος	κινηματοφοράγος
34	φαφλατάς	αφλατάς	φαλατάς
35	οφθαλμοφανής	οθαλμοφανής	οφθαλμοανής
36	δαφνόφυλλο	δανόφυλλο	δαφνούλλο
37	βιβλιοδεσία	βιλιοθεσία	βιβιοδεσία
38	βράβευση	ρβάδευση	δράβευση
39	δακρύβρεχτος	δακρύρβεχτος	βακρύφρεχτος
40	αμόλυβδη	αμόλυδβη	αμόλυβθη
41	διεκδίκηση	βιεκθίκηση	διεκίκηση
42	διαδίδω	διαβίβω	βιαδίδω
43	ορθογραφία	ορφογραθία	οθρογραφία
44	θριαμβευτής	δριαμφευτής	φριαμβευτής
45	ανεξιθρησκεία	ανεξιρθησκεία	ανεξιφρησκεία
46	δελφίνι	φελδίνι	δεφλίνι
47	όσφρηση	όσρηση	όρφρηση
48	επιμόρφωση	επιμόφρωση	επιμόρβωση

15. Γλωσσικό υλικό στην πειραματική συνθήκη οπτικής αναγνώρισης

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που βλέπεις				
Ερώτηση	Κατηγορία	Είδος λάθους	Λέξεις		
			1	2	3
1	β	Αντικατάσταση	βυθός	φυθός	δυθός
2	β	Αντικατάσταση	βραβείο	δραδείο	θραδείο
3	β	Αντικατάσταση	βιβλιοθήκη	διδλιοθήκη	φιδλιοθήκη
4	β	Μετάθεση	αμφιβολία	αμβιφολία	αμφιολβία
5	β	Μετάθεση	υδρόβιος	υβρόδιος	υδβόριος
6	β	Μετάθεση	βαρκούλα	ραρκούλα	καρβούλα
7	β	Παράλειψη	βαλβίδα	βαλίδα	αλβίδα
8	β	Παράλειψη	βαβυλωνία	βαυλωνία	αβυλωνία
9	β	Παράλειψη	βαρβαρότητα	βαραρότητα	αρβαρότητα
10	δ	Αντικατάσταση	κλειδί	κλειβί	κλειθί
11	δ	Αντικατάσταση	αντίδραση	αντίβραση	αντίθραση
12	δ	Αντικατάσταση	καθοδήγηση	καθοβήγηση	καθοφήγηση
13	δ	Μετάθεση	έβδομος	έδβομος	έβμοδος
14	δ	Μετάθεση	σκουπιδιάδικο	σκουπιριάδικο	σκουδιτιάδικο
15	δ	Μετάθεση	σιδηρόδρομος	σιδηρόρομος	σιρηδόδρομος
16	δ	Παράλειψη	δώδεκα	δώεκα	ώδεκα
17	δ	Παράλειψη	δενδρύλιο	δενρύλιο	ενδρύλιο
18	δ	Παράλειψη	διδασκαλία	ιδασκαλία	διασκαλία
19	θ	Αντικατάσταση	θρόμβωση	δρόμβωση	βρόμβωση
20	θ	Αντικατάσταση	μοχθηρός	μοχβηρός	μοχδηρός
21	θ	Αντικατάσταση	βαθμοφόρος	βαδμοφόρος	βαφμοφόρος
22	θ	Μετάθεση	θλιβερός	λθιβερός	βλιθερός
23	θ	Μετάθεση	οφθαλμός	οφλαθμός	οθαλμός
24	θ	Μετάθεση	θρησκευτικός	ρθησκευτικός	σρηθκεφτικός
25	θ	Παράλειψη	θεσμοθετώ	εσμοθετώ	θεσμοετώ
26	θ	Παράλειψη	θεατράνθρωπος	εατράνθρωπος	θεατράνρωπος
27	θ	Παράλειψη	βαμοθηρία	βαμοθηρία	βαμοηρία
28	φ	Αντικατάσταση	φρυγανιά	θρυγανιά	δρυγανιά
29	φ	Αντικατάσταση	θερμοφόρα	θερμοβόρα	θερμοδόρα
30	φ	Αντικατάσταση	οδοντογλυφίδα	οδοντογλυθίδα	οδοντογλυβίδα
31	φ	Μετάθεση	αμφιθέατρο	αφμιθέατρο	αμφιφέατρο
32	φ	Μετάθεση	ξάδεφρος	ξάδεφρος	ξάφεδρος
33	φ	Μετάθεση	κινηματογράφος	κινηματογοφάρος	κινηματοφράγος
34	φ	Παράλειψη	φαφλατάς	αφλατάς	φαλατάς

(συνέχεια)

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που βλέπεις				
Ερώτηση	Κατηγορία	Είδος λάθους	Λέξεις		
			1	2	3
35	φ	Παράλειψη	οφθαλμοφανής	οθαλμοφανής	οφθαλμοανής
36	φ	Παράλειψη	δαφνόφυλλο	δανόφυλλο	δαφνούλλο
37	β	Συνδυασμός	βιβλιοδεσία	βυλιοθεσία	βυλβιοδεσία
38	β	Συνδυασμός	βράβευση	ρβάδευση	δράβευση
39	β	Συνδυασμός	δακρύβρεχτος	δακρύρβεχτος	βακρύφρεχτος
40	δ	Συνδυασμός	αμόλυβδη	αμόλυδνη	αμόλυβη
41	δ	Συνδυασμός	διεκδίκηση	βιεκθίκηση	διεκίκηση
42	δ	Συνδυασμός	διαδίδω	διαβίβω	βιαδίδω
43	θ	Συνδυασμός	ορθογραφία	ορφογραφία	οθρογραφία
44	θ	Συνδυασμός	θριαμβευτής	δριαμφευτής	φριαμβευτής
45	θ	Συνδυασμός	ανεξιθρησκεία	ανεξιρθησκεία	ανεξιφρησκεία
46	φ	Συνδυασμός	δελφίνι	φελδίνι	δεφλίνι
47	φ	Συνδυασμός	όσφρηση	όσρηση	όσρφηση
48	φ	Συνδυασμός	επιμόρφωση	επιμόφρωση	επιμόρβωση
49	ρήμα	Κατάληξη	δακρύζω	δακρίζω	δακρείζω
50	ρήμα	Κατάληξη	μολύνω	μολίνω	μολείνω
51	ρήμα	Κατάληξη	ονειρεύομαι	ονειρέβομαι	ονειρεύωμαι
52	ουσιαστικό	Κατάληξη	οι μανάβηδες	οι μανάβειδες	οι μανάβιδες
53	ουσιαστικό	Κατάληξη	η μέλισσα	η μέλιστα	η μέλησσα
54	ουσιαστικό	Κατάληξη	το νηπιαγωγείο	το νηπιαγωγίο	το νηπιαγωγοίο
55	επίθετο	Κατάληξη	ο ευθύς	ο ευθής	ο ευθείς
56	επίθετο	Κατάληξη	η νηστίσιμη	η νηστείσιμη	η νηστίσημη
57	επίθετο	Κατάληξη	το γελοίο	το γελίο	το γελείο
58	ρήμα	Θέμα	ευημερώ	εβημερώ	ευειμερώ
59	ρήμα	Θέμα	βυθομετρώ	βιθομετρώ	βειθομετρώ
60	ρήμα	Θέμα	τοιχογραφώ	τειχογραφώ	τυχογραφώ
61	ουσιαστικό	Θέμα	ο πρωθυπουργός	ο πρωθυπουργός	ο προθυπουργός
62	ουσιαστικό	Θέμα	η μυωπία	η μιωπία	η μυοπία
63	ουσιαστικό	Θέμα	το δυστήχημα	το δυστήχυμα	το δυστήχυμα
64	επίθετο	Θέμα	ο φηγόποινος	ο φηγόποινος	ο φηγόποινος
65	επίθετο	Θέμα	η ανύπαρκτη	η ανήπαρκτη	η ανείπαρκτη
66	επίθετο	Θέμα	το αιρετικό	το ερετικό	το εραιτικό

16. Γλωσσικό υλικό στην πειραματική συνθήκη οπτικής αναγνώρισης με παρουσία μουσικού ερεθίσματος

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που βλέπεις				
Ερώτηση	Κατηγορία	Είδος λάθους	Λέξεις		
			1	2	3
1	β	Αντικατάσταση	φοβάμαι	φοθάμαι	φοδάμαι
2	β	Αντικατάσταση	φοβίζω	φοδίζω	φοθίζω
3	β	Αντικατάσταση	θόρυβος	θόρυδος	θόρυφος
4	β	Μετάθεση	βαφτίζω	φαβτίζω	φατβίζω
5	β	Μετάθεση	φεγγοβολώ	φεγγολοβώ	βεγγοφολώ
6	β	Μετάθεση	Δεκέμβριος	Λεκέμβριος	Δεκέμβριος
7	β	Παράλειψη	βέβηλος	έβηλος	βέηλος
8	β	Παράλειψη	βιβλιάριο	βιλιάριο	ιβλιάριο
9	β	Παράλειψη	μεταβίβαση	μεταίβαση	μεταβίαση
10	δ	Αντικατάσταση	κρεμμύδι	κρεμμύφι	κρεμμύβι
11	δ	Αντικατάσταση	βραδινός	βραθινός	βραδινός
12	δ	Αντικατάσταση	βραδινός	βραθινός	βραδινός
13	δ	Μετάθεση	ταχυδρομείο	ταχυρομείο	ταδυρομείο
14	δ	Μετάθεση	ανδρεία	ανρδεία	αδνρεία
15	δ	Μετάθεση	υδροδότηση	υρδοδότηση	υδροτόδηση
16	δ	Παράλειψη	μεταδίδω	μεταδίω	μεταίδω
17	δ	Παράλειψη	δακτυλίδι	ακτυλίδι	δακτυλί
18	δ	Παράλειψη	διασκεδάζω	διασκεάζω	ιασκεδάζω
19	θ	Αντικατάσταση	θαρραλέος	βαρραλέος	δαρραλέος
20	θ	Αντικατάσταση	βυθίζω	βυδίζω	βυθίζω
21	θ	Αντικατάσταση	προϋπουργός	προδϋπουργός	προφυπουργός
22	θ	Μετάθεση	ασθενοφόρο	αθσενοφόρο	ασενοφόρο
23	θ	Μετάθεση	εθρότητα	εθχρότητα	εχρθότητα
24	θ	Μετάθεση	πάμφηνος	πάμθηνος	πάμφηνος
25	θ	Παράλειψη	θυμήθηκα	υμήθηκα	θυμήηκα
26	θ	Παράλειψη	θεάνθρωπος	εάνθρωπος	θεάνρωπος
27	θ	Παράλειψη	θερμορρύμιση	ερμορρύμιση	θερμορρύμιση
28	φ	Αντικατάσταση	σκεφτικός	σκεθτικός	σκεβτικός
29	φ	Αντικατάσταση	αφύπνιση	αθύπνιση	αβύπνιση
30	φ	Αντικατάσταση	δίφραγκο	δίβραγκο	δίθραγκο
31	φ	Μετάθεση	ναφθαλίνη	ναθφαλίνη	ναλθαφίνη
32	φ	Μετάθεση	εκφραστικός	εφκραστικός	εκφραστικός
33	φ	Μετάθεση	έμφραγμα	έφμαγμα	έμφραγμα
34	φ	Παράλειψη	φωτογραφία	ωτογραφία	φωτογραία

(συνέχεια)

Οδηγία	Διάλεξε τη σωστή λέξη που βλέπεις				
Ερώτηση	Κατηγορία	Είδος λάθους	Λέξεις		
			1	2	3
35	φ	Παράλειψη	φιλοφρόνηση	ύλοφρόνηση	φιλορόνηση
36	φ	Παράλειψη	φορτοεκφόρτωση	ορτοεκφόρτωση	φορτοεκόρτωση
37	β	Συνδυασμός	φλοίσβος	φλοίσδος	φλοίβος
38	β	Συνδυασμός	βλασφημία	φλαβφημία	λβασφημία
39	β	Συνδυασμός	βομβαρδίζω	φοβμαρδίζω	βοβμαρδίζω
40	δ	Συνδυασμός	ενδοφλέβιος	ενθολφέβιος	ενδολέβιος
41	δ	Συνδυασμός	δενδρόφυτος	δενρδόφυτος	δενβρόφυτος
42	δ	Συνδυασμός	κύλινδρος	κύλινδος	κύλινβρος
43	θ	Συνδυασμός	πυθμένας	πυθθένας	πυθμένας
44	θ	Συνδυασμός	θρασύδειλος	ρθασύβειλος	βρασύδειλος
45	θ	Συνδυασμός	θεοφάνεια	φεοφάνεια	εοφάνεια
46	φ	Συνδυασμός	σφουγγάρι	σθουγγάρι	φσουγγάρι
47	φ	Συνδυασμός	φιλάνθρωπος	θιλάνθρωπος	ιλάνθρωπος
48	φ	Συνδυασμός	κλέφτρα	κλέτρα	κλέτφρα
49	ρήμα	Κατάληξη	ταξιδεύω	ταξιδέβω	ταξιδαίβω
50	ρήμα	Κατάληξη	δημοσιοποιώ	δημοσιοπιώ	δημοσιοπειώ
51	ρήμα	Κατάληξη	ποτίζω	ποτειζω	ποτήζω
52	ουσιαστικό	Κατάληξη	οι εισαγγελείς	οι εισαγγελούς	οι εισαγγελής
53	ουσιαστικό	Κατάληξη	η συνήθεια	η συνήθια	η συνήθοια
54	ουσιαστικό	Κατάληξη	το βράδυ	το βράδι	το βράδη
55	επίθετο	Κατάληξη	ο ανδρείος	ο ανδρίος	ο ανδροίος
56	επίθετο	Κατάληξη	η έμφυτη	η έμφιτη	η έμφειτη
57	επίθετο	Κατάληξη	τα συνεχή	τα συνεχοί	τα συνεχεί
58	ρήμα	Θέμα	ακνητοποιώ	ακηνιτοποιώ	ακεινητοποιώ
59	ρήμα	Θέμα	ταξιθετώ	ταξειθετώ	ταζηθετώ
60	ρήμα	Θέμα	τελειοποιώ	τελιοποιώ	τελοιοποιώ
61	ουσιαστικό	Θέμα	ο ξυλέμπορος	ο ξιλέμπορος	ο ξηλέμπορος
62	ουσιαστικό	Θέμα	η ανησυχία	η ανυσηχία	η ανησειχία
63	ουσιαστικό	Θέμα	το τυπογραφείο	το τιπογραφείο	το τυπωγραφείο
64	επίθετο	Θέμα	ο τριγωνικός	ο τριγονικός	ο τρειγωνικός
65	επίθετο	Θέμα	η εύπορη	η έφορη	η εύπορη
66	επίθετο	Θέμα	το ψύχραμο	το ψήχραμο	το ψίχραμο