



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΟΜΕΑΣ ΑΘΛΗΤΙΑΤΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ**

**«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΚΗΣ
ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΣΕ
ΑΤΟΜΑ ΜΗ ΤΥΠΙΚΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΟΞΕΥΤΗΤΑΣ»**

Χριστίνα Κολλιοπούλου

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

«ΒΙΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ»

ΑΘΗΝΑ 2024

© Copyright

Κολλιοπούλου Χριστίνα

Τμήμα Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εθνικής Αντιστάσεως 41, Δάφνη



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικών και Καποδιστριακών
Πανεπιστημίων Αθηνών

— ΙΔΡΥΘΕΝ ΤΟ 1837 —

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών “Βιολογία της Άσκησης”

ΠΡΑΚΤΙΚΟ
ΤΡΙΜΕΛΟΥΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗΣ
ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Της Χριστίνας Κολλιοπούλου

Η τριμελής εξεταστική επιτροπή, που ορίστηκε από τη Συνέλευση του Τμήματος Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών στη συνεδρία της 29/5/2023 για την κρίση και αξιολόγηση της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας της κας **Χριστίνας Κολλιοπούλου** με τίτλο: «Επίδραση ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας στο χρονικό πρότυπο περιοδικής κίνησης σε άτομα μη τυπικής οπτικής οξύτητας» αποτελούμενη από τους κ.κ. **Ε. Ρουσάνογλου**, Καθηγήτρια της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (επιβλέπουσα), **Κ. Μπουντόλο**, Αφυπηρετήσας Καθηγητή της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, **Η. Ζώη**, Αναπλ. Καθηγητή της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πατρών, εκλήθησαν σήμερα 1/11/2024 ημέρα Παρασκευή και ώρα 12:30 ύστερα από επίσημη έγγραφη πρόσκληση στο Αμφιθέατρο Ε. Παυλίνη της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού του Πανεπιστημίου Αθηνών, προκειμένου να κρίνουν και αξιολογήσουν την παραπάνω διπλωματική.

Μετά από διεξοδική συζήτηση και ανταλλαγή απόψεων μεταξύ των μελών της εξεταστικής επιτροπής κατέληξαν ότι η κρίνόμενη διπλωματική πληροί όλους τους όρους εκπόνησής της, είναι πρωτότυπη και προάγει την επιστημονική γνώση και ως εκ τούτου κρίνεται αποδεκτή και εγκρίνεται.

Τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής:

Ε. Ρουσάνογλου, Καθηγήτρια του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Κ. Μπουντόλος, Αφυπηρετήσας Καθηγητής του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Η. Ζώης, Αναπληρωτής Καθηγητής του Πανεπιστημίου Πατρών

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στην ολοκλήρωση αυτού του ταξιδιού, θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες προς όλους εκείνους που με υποστήριξαν και με καθοδήγησαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας.

Πρώτα απ' όλα, ευχαριστώ θερμά την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου, Ελισσάβετ Ρουσάνογλου, καθηγήτρια Αθλητικής Βιομηχανικής, για την πολύτιμη συνεισφορά της στην ολοκλήρωση αυτής της εργασίας, καθώς και για την εμπιστοσύνη και την καθοριστική καθοδήγηση της, που με βοήθησαν να διευρύνω τις γνώσεις και τα ερευνητικά μου ενδιαφέροντα.

Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου, στους γονείς μου και την αδελφή μου, Αλεξάνδρα, για την ανεκτίμητη στήριξη και αδιάλειπτη ενθάρρυνση τους σε κάθε βήμα της πορείας μου. Η αγάπη τους και η σταθερή παρουσία τους ήταν θεμέλιο για την επίτευξη αυτού του στόχου.

Θερμές ευχαριστίες οφείλω επίσης στους φίλους, που στάθηκαν δίπλα μου καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της διαδρομής και ιδιαίτερα στη Φαίδρα, της οποίας η φιλία και η διαρκής ενθάρρυνση και στήριξη υπήρξαν ανεκτίμητες σε κάθε δύσκολη στιγμή.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή Αθλητικής Βιομηχανικής και μέλος της συμβουλευτικής επιτροπής, κ. Κωνσταντίνο Μπουντόλο, για την πολύτιμη καθοδήγηση και την εμπιστοσύνη που μου έδειξε μέσα στο εργαστήριο.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η χρήση ακουστικών σημάτων κατά την εκτέλεση μιας κινητικής διεργασίας, έχει αποδειχθεί ότι επιδρά θετικά στις κινηματικές παραμέτρους της κίνησης και μειώνει τη συνολική μεταβλητότητα της, συμβάλλοντας έτσι σε ένα, συνολικά, πιο σταθερό κινητικό πρότυπο. Οι παραπάνω παρατηρήσεις, έχουν αναδείξει τη ρυθμική ακουστική διέγερση, ως ένα πιθανό μηχανισμό για τη βελτιστοποίηση της κινητικής απόδοσης. Άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα, βασίζονται σχεδόν εξ ολοκλήρου στα ακουστικά ερεθίσματα, από τα οποία εξάγουν χωρικές και χρονικές πληροφορίες για την κίνηση τους στον χώρο.

Σκοπός της παρούσας μελέτης ήταν η διερεύνηση της επίδρασης του ακουστικού ερεθίσματος, της ρυθμικής ταχύτητας αλλά και της αλληλεπίδρασης τους, σε κινηματικές και σε παραμέτρους που σχετίζονται με το χρονισμό της κίνησης, ατόμων μη τυπικής οπτικής οξύτητας. Στην έρευνα συμμετείχαν 15 άτομα με περιορισμούς όρασης ($35,8 \pm 9,2$ έτη, $177 \pm 0,1$ cm, $83 \pm 14,3$ kg) και 15 άτομα με φυσιολογική όραση ($35,3 \pm 10,5$ έτη, $174 \pm 0,1$ cm, $79,7 \pm 12,1$ kg), μέτριας φυσικής κατάστασης. Εκτέλεσαν 3 προσπάθειες για κάθε συνδυασμό ακουστικού ερεθίσματος (2 επίπεδα: χωρίς ακουστικό ερέθισμα, με ακουστικό ερέθισμα) και ρυθμικής ταχύτητας (3 επίπεδα: φυσική, όσο πιο αργή, όσο πιο γρήγορη). Έγινε συνδυαστική συλλογή επιταχυνσιακής μεταβολής (Biopac BN-ACCL3, 1000Hz) και χρονικών δεδομένων (Biopac BN-STRIKE-XDCR, 1000 Hz). Εφαρμόστηκε τρι παραγοντική ANOVA επαναλαμβανόμενων

μετρήσεων για την εξέταση της επίδρασης του ακουστικού ερεθίσματος, της ρυθμικής ταχύτητας και της πιθανής αλληλεπίδραση τους, στις μεταβλητές που επιλέχθηκαν. Για τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα SPSS version 29.0. Ως επίπεδο σημαντικότητας σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις ορίστηκε το $p < .05$.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, η παρουσία ακουστικού ερεθίσματος έχει σημαντική επίδραση στη διάρκεια του κύκλου κίνησης και στη μεταβλητότητα της. Η ρυθμική ταχύτητα έχει σημαντική επίδραση στη μέγιστη γραμμική επιτάχυνση, στο ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης, στη διάρκεια του κύκλου κίνησης, στις χρονικές διαφορές επιτάχυνσης – μετρονόμου και κρούσης – μετρονόμου, στη μεταβλητότητα της διάρκειας κύκλου κίνησης και τέλος στη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης – μετρονόμου. Τέλος σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας παρατηρήθηκε για τη μέγιστη γραμμική επιτάχυνση και τη διάρκεια του κύκλου κίνησης. Τα ευρήματα της μελέτης επιβεβαιώνουν τις ερευνητικές υποθέσεις καθώς και την αξία της χρήσης ακουστικών ερεθισμάτων σε άτομα μη τυπικής οπτικής οξύτητας. Η χρήση ακουστικών ερεθισμάτων είναι ικανή να βελτιώσει το κινητικό πρότυπο ατόμων με μη τυπική οπτική οξύτητα και ενδεχομένως θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί τόσο στην αποκατάσταση όσο και στην προπόνηση κινητικών δεξιοτήτων για αυτά τα άτομα.

ABSTRACT

The use of auditory cues during the execution of a motor task has been shown to positively affect the kinematic parameters of movement and reduce overall variability, thereby contributing to a more stable motor pattern. These observations have highlighted rhythmic auditory stimulation as a potential mechanism for optimizing motor performance. Individuals with atypical visual acuity rely almost entirely on auditory cues, from which they derive spatial and temporal information to guide their movements in space.

The aim of this study was to investigate the effect of auditory stimuli, rhythmic speed, and their interaction on kinematic and timing-related parameters of movement in individuals with atypical visual acuity. The study included 15 individuals with visual impairments ($35,8 \pm 9,2$ years, $177 \pm 0,1$ cm, $83 \pm 14,3$ kg) and 15 individuals with normal vision ($35,3 \pm 10,5$ years, $174 \pm 0,1$ cm, $79,7 \pm 12,1$ kg), all with moderate physical fitness levels. Participants performed three attempts for each combination of auditory stimulus (2 levels: without auditory stimulus, with auditory stimulus) and rhythmic speed (3 levels: natural, as slow as possible, as fast as possible). Data collection aimed to acceleration (Biopac BN-ACCL3, 1000 Hz) and temporal parameters (Biopac BN-

STRIKE-XDCR, 1000 Hz). A three-way repeated-measures ANOVA was applied to examine the effects of auditory stimuli, rhythmic speed, and their potential interaction on the selected variables. For statistical analysis, SPSS version 29.0 software was used, with the significance level set at $p < .05$ for all analyses.

The results showed that the presence of auditory stimuli had a significant effect on movement cycle duration and its variability. Rhythmic speed significantly affected maximum linear acceleration, the rate of acceleration change, movement cycle duration, timing differences between acceleration and metronome, timing differences between strike and metronome, movement cycle duration variability, and the variability of the timing difference between acceleration and metronome. Finally, a significant interaction between auditory stimulus and rhythmic speed was observed for maximum linear acceleration and movement cycle duration.

The findings of this study support the research hypotheses and highlight the value of using auditory stimuli for individuals with atypical visual acuity. The use of auditory cues can improve the motor patterns of individuals with atypical visual acuity and could potentially be used in both rehabilitation and skill training for these individuals.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΚΡΙΣΗΣ	ii
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iii
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	iv
ABSTRACT	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	x
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	xii
ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΗ ΟΡΩΝ	xiii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1. Σημασία της έρευνας	σελ.1
1.2. Ορισμός και διατύπωση του ερευνητικού προβλήματος	σελ.2
1.3. Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων	σελ.2
1.4. Στατιστικές Υποθέσεις	σελ.2
1.5. Μεταβλητές	σελ.4
1.5.1. Ανεξάρτητες Μεταβλητές	σελ.4
1.5.2. Εξαρτημένες Μεταβλητές	σελ.4
1.6. Οριοθετήσεις και περιορισμοί	σελ.4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Ακουστικό ερέθισμα	σελ.5
2.1.1. Ορισμός και έννοια του ακουστικού ερεθίσματος	σελ.5
2.1.2. Ιδιότητες ηχητικών κυμάτων	σελ.5
2.1.3. Χαρακτηριστικά του ήχου	σελ.6
2.1.4. Περιοδικά και μη περιοδικά ηχητικά κύματα	σελ.10
2.1.5 Χρονικά χαρακτηριστικά μουσικού ακουστικού ερεθίσματος	σελ.11
2.2. Συγχρονισμός και αντίληψη μουσικού κτύπου	σελ.12
2.3. Μεταβλητότητα της ανθρώπινης κίνησης	σελ.13

2.4. Επίδραση ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος στην ανθρώπινη κίνηση	σελ.15
2.5. Επιδράσεις διαφορετικών ρυθμικών ταχυτήτων του ακουστικού ερεθίσματος στην κίνηση	σελ.16
2.6. Δοκιμασίες αξιολόγησης της επίδρασης της Ρυθμικής Ακουστικής Διέγερσης στην ανθρώπινη κίνηση	σελ.20
2.7. Επίδραση ακουστικών ερεθισμάτων στην κίνηση ατόμων με μη τυπική οπτική οξύτητα	σελ.22
2.8. Σύνοψη Ανασκόπησης	σελ.25

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

Μεθοδολογία

3.1. Δείγμα της έρευνας	σελ.27
3.2. Όργανα μέτρησης	σελ.28
3.2.1. Συλλογή χρονικών δεδομένων – αισθητήρες κρούσης	σελ.28
3.2.2. Συλλογή κινηματικών δεδομένων – αδρανειακοί αισθητήρες	σελ.29
3.2.3. Αξιολόγηση Ακοής	σελ.29
3.3. Ακουστικά ερεθίσματα και κινητικές δοκιμασίες	σελ.30
3.3.1. Ακουστικά ερεθίσματα	σελ.30
3.3.2. Κινητική δοκιμασία	σελ.30
3.4. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας	σελ.31
3.5. Επεξεργασία και εξαγωγή μεταβλητών	σελ.31
3.6. Στατιστική ανάλυση	σελ.32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

4.1. Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων	σελ.33
4.2. Αλληλεπιδράσεις	σελ.33
4.2.1. Σημαντικότητα του ρόλου της ΟΟ στην αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και ΡΤ	σελ.33
4.2.2 Αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΑΕ	σελ.33
4.2.3. Αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΡΤ	σελ.34
4.2.4. Αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και ΡΤ	σελ.36
4.3. Κύριες επιδράσεις	σελ.36
4.3.1. Κύρια επίδραση ΟΟ	σελ.36

4.3.2. Κύρια επίδραση ΑΕ	σελ.38
4.3.3. Κύρια επίδραση ΡΤ	σελ.38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

5.1. Εισαγωγική παράγραφος	σελ.43
5.2. Ο ρόλος της ΟΟ στην αλληλεπίδραση ΑΕ και ΡΤ	σελ.45
5.3. Αλληλεπίδραση ΟΟ και ΑΕ	σελ.45
5.4. Αλληλεπίδραση ΟΟ και ΡΤ	σελ.46
5.5. Αλληλεπίδραση ΑΕ και ΡΤ	σελ.47
5.6. Κύρια επίδραση ΑΕ	σελ.48
5.7. Κύρια επίδραση ΡΤ	σελ.50
5.8. Περιορισμοί εργασίας	σελ.52
5.9. Συμπεράσματα	σελ.53
5.10. Πρακτικές εφαρμογές	σελ.53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	σελ.55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	σελ.63

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και ποσοστιαίος συντελεστής μεταβλητότητας (CV%) των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων..... σελ.33

Πίνακας ΠΑΡ Δ-1. Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (PT) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).
..... σελ.69

Πίνακας ΠΑΡ Δ-2. Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού, για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (PT) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ)..... σελ.69

Πίνακας ΠΑΡ Δ-3. Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) (εκατοστιαίες μονάδες) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (PT) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ)..... σελ.70

Πίνακας ΠΑΡ Δ-4. Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων κίνησης των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού για όλες τις συνθήκες ΑΕ και PT. ΑΕ: ακουστικό ερέθισμα, PT: ρυθμική ταχύτητα, Π: φυσική προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Α: αργή προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Γ: γρήγορη προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης.
.....σελ.70

Πίνακας ΠΑΡ Δ-5. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για την επίδραση του ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(PT) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.....σελ.71

Πίνακας ΠΑΡ Δ-6. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(PT) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στη μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.....σελ.71

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 2.1. Ηχητικά κύματα που: α) παραμένει σταθερό όσον αφορά τη συχνότητα (επομένως και το τονικό ύψος), αλλά μειώνεται σε ένταση, β) αυξάνεται η συχνότητα του (επομένως και το τονικό του ύψος), αλλά παραμένει σχεδόν ίδιο σε ένταση, γ) μειώνεται συγχρόνως συχνότητα – τονικό ύψος και ένταση.....σελ.7

Σχήμα 2.2. Απόσπασμα κυματομορφής. Η κυματομορφή επαναλαμβάνεται κάθε 2,5 ms, διάρκεια που ορίζει την περίοδό της.....σελ.8

Σχήμα 2.3. Είδη ηχητικών κυμάτων: (α)ημιτονοειδές κύμα, (β)τριγωνικό κύμα, (γ)τετραγωνικό κύμα, (δ)πριονωτό κύμα.....σελ.10

Σχήμα 4.1. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind) (%) της χρονικής διαφοράς μέγιστης επιτάχυνση– κρούσης όπου βρέθηκε σημαντική (* $p < 0.05$) τριπλή αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) – ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ: Χωρίς-Με, συμπαγές-διάστικτο γέμισμα ράβδου, αντίστοιχα) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ: φυσική, αργή, γρήγορη, ανοιχτό γκρι, σκούρο γκρι, μαύρο χρώμα ράβδου, αντίστοιχα).....σελ.34

Σχήμα 4.2. Παράμετροι σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) και ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ). Πάνω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του μεγέθους του ρυθμού μεταβολής επιτάχυνσης. Κάτω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind%) για τη διάρκεια κύκλου κίνησης και τη χρονική διαφορά επιτάχυνσης–κρούσης. * σημαντική διαφορά $p < 0.05$σελ.35

Σχήμα 4.3. Παράμετροι σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ). Πάνω και Κέντρο: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του μεγέθους της διάρκειας κύκλου κίνησης και των χρονικών διαφορών μέγιστης επιτάχυνσης-μετρονόμου και κρούσης μετρονόμου. Κάτω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind%) για τη χρονική διαφορά κρούσης μετρονόμου. * σημαντική διαφορά $p < 0.05$σελ.37

Σχήμα 4.4. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της παραμέτρου σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ). * σημαντική διαφορά $p < 0.01$σελ.38

Σχήμα 4.5. Κύρια επίδραση οπτικής οξύτητας (ΟΟ) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (ακουστικού ερεθίσματος ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους για το μέγεθος και την ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων παραμέτρων, μεταξύ των ομάδων τυπικής και μη τυπικής ΟΟ. Σημαντική επίδραση: * $p \leq .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, ns μη σημαντική επίδραση.....σελ.39

Σχήμα 4.6. Κύρια επίδραση ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (οπτικής οξύτητας ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους όπου υπήρχε σημαντική διαφορά στο μέγεθος ή/και την ατομική μεταβλητότητα αυτών, μεταξύ των συνθηκών ΑΕ (Χωρίς ΑΕ-Με ΑΕ). Σημαντική επίδραση: * $p \leq .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, ns μη σημαντική επίδραση.....σελ.40

Σχήμα 4.3. Κύρια επίδραση ρυθμικής ταχύτητας (ΑΕ) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (οπτικής οξύτητας ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους όπου υπήρχε σημαντικότητα της διαφοράς στο μέγεθος ή/και την ατομική μεταβλητότητα αυτών, μεταξύ των συνθηκών ΑΕ (Χωρίς ΑΕ-Με ΑΕ). Σημαντική επίδραση: * $p \leq .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$, ns μη σημαντική επίδραση.....σελ.41

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα 2.1.** Φάσμα όπου οι κορυφές είναι ακέραια πολλαπλάσια της F_0 , χαρακτηριστικό ενός περιοδικού ήχου (McDermott & Oxenham, 2009).....σελ.8
- Εικόνα 2.2.** Σχήμα κύματος "θορύβου" από αναλογικό συνθεσάιζερ (Berg & Stork, 2004).....σελ.10
- Εικόνα 3.1.** Ανάλυση στατιστικής ισχύος μέσω της εφαρμογής G*Power 3.1.9.7.....σελ.28
- Εικόνα 3.2.** Αριστερά: Αισθητήρες κρούσης: αισθητήρες φτέρνας/δαχτύλων (RX111) (Biopac Systems, 2023), Δεξιά: Αισθητήρες κρούσης και το καλώδιο προσαρμογής για τη διασύνδεση με το πομπό BioNomadix Strike (Biopac Systems, 2023).....σελ.29
- Εικόνα 3.3.** Τοποθέτηση αισθητήρων κρούσεων και επιταχυνσιόμετρουσελ.30
- Εικόνα 3.4.** Ενδεικτικό γράφημα των αποτελεσμάτων της δοκιμασίας ευαισθησίας της ακοής, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή Hearing Test. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν τη φυσιολογική ακοή μίας δοκιμαζόμενης που συμμετείχε στην πιλοτική μελέτη της παρούσας εργασίας. Στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι συχνότητες που εξετάζονται από τη δοκιμασία σε εύρος από 250 έως 8000 Hz, ενώ οι αριθμοί στον κατακόρυφο άξονα αναφέρονται στην ένταση του ήχου (dB). Σε κάθε εξεταζόμενη συχνότητα σημειώνεται η ένταση για το αριστερό (X) και το δεξί αυτί (O). Για τη συγκεκριμένη δοκιμαζόμενη φαίνεται οι συχνότητες από τα 1000 Hz και πάνω διαφέρουν ανάμεσα σε αριστερό και δεξί αυτί. Παρόλο αυτά φαίνεται να εμφανίζει φυσιολογική ακοή καθώς βρίσκεται μέσα στα φυσιολογικά όρια (0-20 dB), σύμφωνα με την εφαρμογή Hearing Test.....σελ.31

ΔΙΕΥΚΡΙΝΙΣΗ ΟΡΩΝ

- **Ακουστικό ερέθισμα:** Οποιοδήποτε ερέθισμα γίνεται αντιληπτό στον άνθρωπο με τη μορφή ήχου.
- **Κτύπος:** Ισχυρός ήχος ο οποίος εμφανίζεται περιοδικά. Οι κτύποι μπορούν να ορισθούν ως χρονικά σημεία τα οποία συχνά, αλλά όχι πάντα, αντιπροσωπεύονται από ηχητικά συμβάντα.
- **Κύκλος κίνησης:** Η χρονική οριοθέτηση του επαναλαμβανόμενου γεγονότος από το οποίο αποτελείται μια κίνηση.
- **Ρυθμική ταχύτητα:** Καθορίζεται από τη συχνότητα επανάληψης των τακτικών κτύπων ή παλμών σε δεδομένο χρονικό διάστημα. Η ταχύτητα της μουσικής, γνωστή και ως “tempo”. Υπολογίζεται σε κτύπους ανά λεπτό.
- **Ρυθμός:** Βασικό στοιχείο της μουσικής. Αναφέρεται σε ρητές διαιρέσεις χρόνου ή χώρου σε συστήματα επαναλαμβανόμενων χρονικών μεσοδιαστημάτων.
- **Συγχρονισμός:** Το φαινόμενο του συγχρονισμού ενός κινητικού προτύπου με ένα εξωτερικό ρυθμικό ακουστικό ερέθισμα.

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΡΑΔ: Ρυθμική Ακουστική Διέγερση

ΑΕ: Ακουστικό Ερέθισμα

ΡΤ: Ρυθμική Ταχύτητα

ΟΟ: Οπτική Οξύτητα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

Εισαγωγή

1.1.Σημασία της έρευνας

Η χρήση της Ρυθμικής Ακουστικής Διέγερσης (ΡΑΔ) με στόχο τη βελτίωση της κινητικότητας ατόμων που νοσούν από πληθώρα νευρολογικών παθήσεων έχει μελετηθεί εκτενώς και η αποτελεσματικότητά της είναι επαρκώς τεκμηριωμένη. Το Πάρκινσον, το εγκεφαλικό επεισόδιο και η σκλήρυνση κατά πλάκας είναι παθήσεις οι οποίες έχουν συγκεντρώσει το ενδιαφέρον ως προς την διερεύνηση της επίδρασης της ΡΑΔ στην κίνηση των ασθενών που νοσούν από αυτές (Arias & Cudeiro, 2010; Ko et al., 2016; Murgia, 2018; Shahraki et al., 2017; Willems et al., 2006; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016). Πιο συγκεκριμένα, έχει αποδειχθεί ότι η χρήση ακουστικών ερεθισμάτων βελτιώνει τα χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά αλλά και τη μεταβλητότητα της κίνησης, των ασθενών (Baker et al., 2008; Thaut et al., 1996; Thaut & Abiru, 2010; Willems et al., 2006; Wright et al., 2016).

Σε συνέχεια των παραπάνω παρατηρήσεων, αρκετές έρευνες έχουν εισάγει και την επίδραση της ρυθμικής ταχύτητας του ακουστικού ερεθίσματος στην κίνηση των ασθενών, με την πλειοψηφία των αποτελεσμάτων να υποδεικνύουν μεγαλύτερη επίδραση σε περιπτώσεις όπου η ρυθμική ταχύτητα των ακουστικών ερεθισμάτων ήταν ορισμένη σε +10% και -10% από την φυσική προτιμώμενη ιδιοσυχνότητα (100%) των εξεταζομένων (Arias & Cudeiro, 2010; Minino et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015).

Σε συνέχεια της αποτελεσματικότητας της ΡΑΔ στην κίνηση ατόμων με νευρολογικές παθήσεις, το ενδιαφέρον μας στρέφεται στην πιθανή επίδραση αυτής σε άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα, γνωρίζοντας ότι πρόκειται για περιπτώσεις όπου υπάρχει σημαντική εξάρτηση από την αίσθηση της ακοής για την επίτευξη της κίνησης και τον προσανατολισμό τους (πλοήγησή τους) στον περιβάλλοντα χώρο.

Η πλειοψηφία των χωρικών πληροφοριών προσλαμβάνεται από τον άνθρωπο μέσω της όρασης (Alais & Burr, 2004; Lahav & Mioduser, 2005). Άτομα τα οποία έχουν μη τυπική οπτική οξύτητα έχει αποδειχθεί ότι χρησιμοποιούν τα ακουστικά ερεθίσματα ως βασική πηγή πληροφορίας με στόχο τον προσανατολισμό και την πλοήγησή τους στο χώρο (Lahav & Mioduser, 2005). Ωστόσο, ενώ έχει διαπιστωθεί ότι τείνουν να βασίζονται σε χωρο-χρονικές πληροφορίες των ακουστικών ερεθισμάτων, όπως η κατεύθυνση, η διάρκεια, η ένταση και η εμβέλεια τους, για το σχηματισμό ενός γνωστικού χωρικού χάρτη του περιβάλλοντος χώρου, δεν έχει φανεί να υπάρχουν σημαντικές διαφορές όσον αφορά τους χρόνους αντίδρασης τους κατά τη σύγκριση με άτομα με φυσιολογική όραση (Amadeo et al., 2020; Bernard, 1979; Gandhi et al., 2013; Gaver, 1993; Gori et al., 2018; Moldoveanu et al., 2015; Papadopoulos et al., 2012).

Η παρούσα μελέτη είχε ως κύριο στόχο, τη διερεύνηση των αλληλεπιδράσεων Α) μεταξύ οπτικής οξύτητας και ακουστικού ερεθίσματος, Β) μεταξύ οπτικής οξύτητας και ρυθμικής ταχύτητας, Γ)

μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας καθώς και Δ) τη διαφοροποίηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας λόγω της οπτικής οξύτητας, στο χρονικό πρότυπο της περιοδικής κίνησης της επιτόπιας ποδικής κρούσης, καθώς και σε μέτρα συγχρονισμού αυτής με μετρονομικό ακουστικό ερέθισμα, σε άτομα με τυπική και με μη τυπική οπτική οξύτητα.

1.2. Ορισμός και διατύπωση του ερευνητικού προβλήματος

Το ερευνητικό πρόβλημα το οποίο τέθηκε προς διερεύνηση ήταν, εάν οπτική οξύτητα διαφοροποιεί το χρονικό πρότυπο και το συγχρονισμό με εξωτερικό ακουστικό ερέθισμα την περιοδική κίνηση της επιτόπιας ποδικής κρούσης, όταν αυτή αλληλεπιδρά με τη παρουσία ακουστικού ερεθίσματος και διαβάθμιση της ρυθμική ταχύτητα εκτέλεσης της κίνησης.

Συγκεκριμένα, διερευνήθηκε η αλληλεπίδραση της οπτικής οξύτητας (τυπική, μη τυπική) με το ακουστικό ερέθισμα (χωρίς ακουστικό ερέθισμα, με ακουστικό ερέθισμα) και τη ρυθμική ταχύτητα (φυσική, όσο πιο αργή, όσο πιο γρήγορη – ατομικά προτιμώμενη για τον κάθε συμμετέχοντα), στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα παραμέτρων του χρονικού προτύπου της κίνησης αλλά και μέτρων συγχρονισμού αυτής με το ακουστικό ερέθισμα.

1.3. Διατύπωση ερευνητικών ερωτημάτων

Με στόχο την επίτευξη του ερευνητικού σκοπού της μελέτης, τα ερευνητικά ερωτήματα ήταν τα εξής:

1° Ερευνητικό ερώτημα. Διαφοροποιεί η οπτική οξύτητα την

αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας σε ότι αφορά το μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων μεταβλητών του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης σε άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα;

2° Ερευνητικό ερώτημα. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας και ακουστικού ερεθίσματος στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων παραμέτρων του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης σε άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα;

3° Ερευνητικό ερώτημα. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας και ρυθμικής ταχύτητας στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων μεταβλητών του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης σε άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα;

4° Ερευνητικό ερώτημα. Υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων μεταβλητών του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης σε άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα;

1.4. Στατιστικές υποθέσεις

Βιβλιογραφική τεκμηρίωση ερευνητικών υποθέσεων για την επίδραση οπτικής οξύτητας: Σε μελέτες έμμεσης συνάφειας, όπου δεν εξετάζεται το κινητικό πρότυπο αλλά ο προσανατολισμός και η πλοήγηση στο χώρο, φαίνεται ότι η οπτική οξύτητα επηρεάζει την κινητική απόκριση (Lahav & Mioduser, 2005).

1^η Ερευνητική υπόθεση. Ο ρόλος της οπτικής οξύτητας στην αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας. Η οπτική οξύτητα θα διαφοροποιεί την αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας στις εξεταζόμενες παραμέτρους του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης.

1^η Στατιστική υπόθεση

Για όλα τα επίπεδα ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας:

Μηδενική $H_0: \mu_{ij} = \mu$

Εναλλακτική $H_1: \mu_{ij} \neq \mu$

2^η Ερευνητική υπόθεση: Αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας και ακουστικού ερεθίσματος. Θα υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας και ακουστικού ερεθίσματος στις εξεταζόμενες παραμέτρους του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης.

2^η Στατιστική υπόθεση

Μηδενική $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική $H_1: \mu_i \neq \mu$

Βιβλιογραφική τεκμηρίωση 2^{ης} ερευνητικής υπόθεσης: Η χρήση ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος για τη διέγερση της κίνησης (ΠΑΔ) έχει θετική επίδραση στις χωρο-χρονικές παραμέτρους της βάρδισης (Arias & Cudeiro, 2010; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Murgia, 2018; Shahraki et al., 2017; Thaut et al., 1996; Willems et al., 2006; Wittwer et al., 2013; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016).

3^η Ερευνητική υπόθεση: Αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής

οξύτητας και ρυθμικής ταχύτητας. Θα υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας και ρυθμικής ταχύτητας στις εξεταζόμενες παραμέτρους του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης.

3^η Στατιστική υπόθεση

Εναλλακτική $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Εναλλακτική $H_1: \mu_i \neq \mu$

Βιβλιογραφική τεκμηρίωση 3^{ης} ερευνητικής υπόθεσης: Η ρυθμική ταχύτητα κίνησης διαφοροποιεί την επίδραση του ακουστικού ερεθίσματος στις χωρο-χρονικές παραμέτρους της βάρδισης (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015).

4^η Ερευνητική υπόθεση: Αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας. Θα υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας στις εξεταζόμενες παραμέτρους του χρονικού προτύπου της περιοδικής κίνησης της ποδικής κρούσης.

4^η Στατιστική Υπόθεση (Γ)

Εναλλακτική $H_0: \mu_1 = \mu_2$

Μηδενική $H_1: \mu_i \neq \mu$

Βιβλιογραφική τεκμηρίωση 4^{ης} ερευνητικής υπόθεσης: Η χρήση ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος για τη διέγερση της κίνησης (ΠΑΔ) έχει θετική επίδραση στις χωρο-χρονικές παραμέτρους της βάρδισης (Arias & Cudeiro, 2010; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Murgia, 2018; Shahraki et al., 2017; Thaut et

al., 1996; Willems et al., 2006; Wittwer et al., 2013; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016) ενώ και η ρυθμική ταχύτητα κίνησης φαίνεται να διαφοροποιεί την επίδραση του ακουστικού ερεθίσματος στις χωρο-χρονικές παραμέτρους της βάδισης (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015).

1.5. Μεταβλητές

1.5.1. Ανεξάρτητες μεταβλητές

Ως ανεξάρτητες μεταβλητές της παρούσας μελέτης ορίστηκαν:

Α) Το ακουστικό ερέθισμα με 2 επίπεδα: χωρίς ακουστικό ερέθισμα, με ακουστικό ερέθισμα απλού κτύπου (μετρονόμος), το οποίο ρυθμίστηκε σε συχνότητα ίση με αυτή της προτιμώμενης για κάθε συνθήκη ρυθμικής ταχύτητας χωρίς ακουστικό ερέθισμα.

Β) Η ρυθμική ταχύτητα με 3 επίπεδα: προτιμώμενη φυσική ρυθμική ταχύτητα (φυσική ιδιοσυχνότητα), προτιμώμενη πιο αργή ρυθμική ταχύτητα και προτιμώμενη πιο γρήγορη ρυθμική ταχύτητα.

Γ) Η οπτική οξύτητα με 2 επίπεδα: τυπική οπτική οξύτητα και μη τυπική οπτική οξύτητα

1.5.2. Εξαρτημένες μεταβλητές

Ως εξαρτημένες μεταβλητές υπολογίστηκαν α) τα μεγέθη και β) η ατομική μεταβλητότητα για τις ακόλουθες παραμέτρους:

Α) Μέγιστη γραμμική επιτάχυνση (m/s^2).

Β) Ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνσης (m/s^3), μέτρο της ροής της κίνησης (jerk).

Γ) Διάρκεια του κύκλου κίνησης (s).

Δ) Χρονική διαφορά (s) μεταξύ κορύφωσης επιτάχυνσης και κορύφωσης κρούσης.

Ε) Χρονική διαφορά (s) μεταξύ κορύφωσης επιτάχυνσης και κορύφωσης μετρονόμου (μόνο στη συνθήκη με ακουστικό ερέθισμα).

ΣΤ) Η χρονική διαφορά (s) μεταξύ κορύφωσης κρούσης και κορύφωσης μετρονόμου (μόνο στη συνθήκη με ακουστικό ερέθισμα).

Για κάθε μία από τις προαναφερθείσες μεταβλητές, η ατομική μεταβλητότητα υπολογίστηκε για τη μέση τιμή και τυπική απόκλιση των τριών προσπαθειών του κάθε ατόμου ανά συνθήκη, και εκφράστηκε μέσω του εκατοστιαίου συντελεστή μεταβλητότητας (Coefficient of Variation), υπολογισμένου ως τυπική απόκλιση / μέση τιμή (x) 100 (%CVind).

1.6. Οριοθετήσεις και περιορισμοί

Η συγκεκριμένη μελέτη αφορά άτομα ηλικίας (21-51 ετών) με μη τυπική οπτική οξύτητα και με τυπική οπτική οξύτητα, μέτριας φυσικής κατάστασης. Κριτήρια αποκλεισμού αποτέλεσαν, η ύπαρξη ορθοπεδικών προβλημάτων, νευρολογικών διαταραχών, η μειωμένη ακοή και τυχόν διαταραχές του αιθουσαίου συστήματος. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευθούν σε άλλες πληθυσμιακές ομάδες που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω οριοθετήσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

Ανασκόπηση Βιβλιογραφίας

2.1. Ακουστικό ερέθισμα

2.1.1. Ορισμός και έννοια του ακουστικού ερεθίσματος

Η ύπαρξη ακουστικών ερεθισμάτων είναι στενά συνδεδεμένη με την ανθρώπινη ύπαρξη. Οποιοδήποτε ερέθισμα γίνεται αντιληπτό από τον άνθρωπο με τη μορφή ήχου, ορίζεται ως ακουστικό ερέθισμα (Legatt, 2015; Ling et al., 2016). Ο ήχος είναι ένα είδος μηχανικού κύματος. Πιο συγκεκριμένα, ο ήχος δημιουργείται έπειτα από μία διαταραχή της ύλης, η οποία μεταδίδεται από την πηγή προς το εξωτερικό περιβάλλον (Ling et al., 2016).

Τα ηχητικά κύματα προκειμένου να μπορέσουν να διαδοθούν χρειάζονται την ύπαρξη κάποιου υλικού μεταξύ του πομπού και του δέκτη, όπως ο αέρας ή το νερό, καθώς είναι αδύνατον να διαδοθούν στο κενό (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016). Τα ηχητικά κύματα, τα οποία διαδίδονται στον αέρα είναι διαμήκη και διαδίδονται έως ότου φθάσουν στο τύμπανο του ανθρώπινου αυτιού (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016). Στη συνέχεια, θέτουν το τύμπανο σε ταλάντωση ίδιας συχνότητας με αυτή της πηγής των ηχητικών κυμάτων. Οι δονήσεις του τυμπάνου μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία ο εγκέφαλος ερμηνεύει ως ήχο. Πιο συγκεκριμένα, τα ηχητικά κύματα που δημιουργεί ο πομπός δημιουργούν κάποιες περιοχές στον ατμοσφαιρικό αέρα με μικρότερη ατμοσφαιρική πίεση από την κανονική και κάποιες περιοχές με μεγαλύτερη. Αυτή τη διαφορά πίεσης ανιχνεύουν τελικώς οι υποδοχείς στο εσωτερικό του αυτιού

και αντιλαμβανόμεθα τον ήχο (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016). Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο ήχος είναι ένα περιοδικό κύμα και τα άτομα υφίστανται μια απλή αρμονική ταλάντωση. Επομένως, τα ηχητικά κύματα είναι ικανά να προκαλέσουν ταλαντώσεις και φαινόμενα συντονισμού (Berg & Stork, 2004; Kinsler et al., 2000; Ling et al., 2016).

2.1.2. Ιδιότητες ηχητικών κυμάτων

Οι βασικές φυσικές ιδιότητες των ηχητικών κυμάτων περιλαμβάνουν τη συχνότητα, την ένταση, το μήκος κύματος, την ταχύτητα και τη φάση (Ling et al., 2016; Moore, 2013). Η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος εκφράζει τον αριθμό των δονήσεων ή των ταλαντώσεων που εκτελεί ο πομπός, ανά δευτερόλεπτο με μονάδα μέτρησης το Hertz (Hz) (Ling et al., 2016). Το εύρος ακουστικών συχνοτήτων που μπορεί να ανιχνευθεί από τον άνθρωπο κυμαίνεται από 20 Hz έως 20 kHz (Ling et al., 2016).

Η ένταση ενός ηχητικού κύματος αναφέρεται στην ισχύ του ηχητικού κύματος ανά μονάδα επιφάνειας και μετριέται σε ντεσιμπέλ (dB) (Ling et al., 2016; Moore, 2013). Ηχητικά κύματα με υψηλότερα πλάτη αντιστοιχούν σε μεγαλύτερες εντάσεις, δηλαδή υψηλότερα επίπεδα ντεσιμπέλ. Το πλάτος ενός ηχητικού κύματος καθορίζεται από την ποσότητα ενέργειας που περιέχει, η οποία σχετίζεται με το μέγεθος των δονήσεων που προκαλεί ο πομπός (Ling et al., 2016). Μια μεγαλύτερη δόνηση θα παράγει ένα ηχητικό κύμα με μεγαλύτερο πλάτος και επομένως μεγαλύτερη ενέργεια και ένταση. Η ένταση ενός ηχητικού κύματος μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στην αντίληψη του από τον άνθρωπο,

καθώς τα πολύ υψηλά ή πολύ χαμηλά πλάτη ενδέχεται να είναι άβολα ή ακόμη και να βλάψουν το ανθρώπινο αυτί (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016; Moore, 2013). Ο άνθρωπος μπορεί να αντιληφθεί ήχους με ένταση περίπου από 0 dB (κατώφλι ακοής) έως 120 dB (κατώφλι πόνου), ενώ ήχοι πάνω από τα 160 dB μπορούν να προκαλέσουν μέχρι και κώφωση στον (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016; Moore, 2013).

Το μήκος κύματος είναι η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων ενός ηχητικού κύματος, που βρίσκονται σε φάση, δηλαδή έχουν το ίδιο πλάτος και την ίδια μετατόπιση από τη θέση ισορροπίας (Ling et al., 2016). Το μήκος κύματος σχετίζεται με τη συχνότητα του κύματος και πιο συγκεκριμένα είναι αντιστρόφως ανάλογο αυτής (Berg & Stork, 2004). Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι, ηχητικά κύματα με υψηλότερες συχνότητες έχουν μικρότερα μήκη κύματος, ενώ ηχητικά κύματα χαμηλότερων συχνοτήτων έχουν μεγάλα μήκη κύματος. Αυτό συμβαίνει επειδή οι ήχοι υψηλότερης συχνότητας έχουν περισσότερους κύκλους δόνησης ανά δευτερόλεπτο και επομένως κάθε κύκλος συμπίεζεται σε μικρότερο χώρο. Τέλος, το μήκος κύματος των ηχητικών κυμάτων εξαρτάται και από τις ιδιότητες του μέσου στο οποίο διαδίδεται (Ling et al., 2016). Για παράδειγμα, τα ηχητικά κύματα διαδίδονται γρηγορότερα σε στερεά συγκριτικά με τα υγρά και τα αέρια, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει το μήκος κύματος τους (Ling et al., 2016).

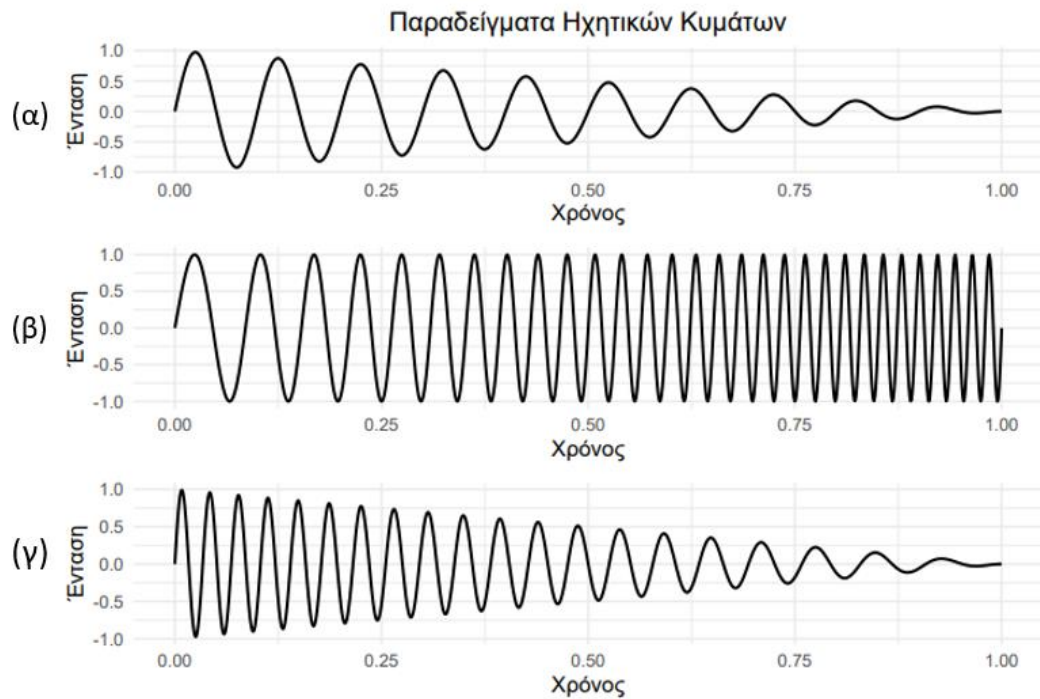
Η ταχύτητα των ηχητικών κυμάτων καθορίζεται από τις ιδιότητες του μέσου, στο οποίο διαδίδονται (Ling et

al., 2016). Τέτοιες ιδιότητες μπορεί να είναι η πυκνότητα, η ελαστικότητα και η θερμοκρασία του μέσου διάδοσης. Γενικά, τα ηχητικά κύματα διαδίδονται πιο γρήγορα σε λιγότερο πυκνά και πιο ελαστικά μέσα, καθώς και σε υψηλότερες θερμοκρασίες (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016).

Η φάση είναι ένα μέτρο του σχετικού χρονισμού δύο ή περισσότερων ηχητικών κυμάτων και μπορεί να επηρεάσει τον τρόπο που αυτά αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016). Πιο συγκεκριμένα, η φάση ενός ηχητικού κύματος αναφέρεται στη θέση ενός σημείου στο κύμα ως προς ένα χρονικό σημείο αναφοράς (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016). Τα ηχητικά κύματα που βρίσκονται σε φάση, ενισχύουν το ένα το άλλο και δημιουργούν έναν πιο δυνατό ήχο, ενώ αυτά που είναι εκτός φάσης μπορούν να αλληλοεξουδετερωθούν και να δημιουργήσουν ένα πιο χαμηλό ήχο (Berg & Stork, 2004).

2.1.3. Χαρακτηριστικά του ήχου

Οι φυσικές ιδιότητες των ηχητικών κυμάτων μπορούν να συσχετισθούν στην ανθρώπινη αντίληψη ως προς το τονικό ύψος, την ένταση, το ηχόχρωμα και τη συχνότητά τους (Berg & Stork, 2004; Levitin, 2006; Ling et al., 2016). Τα χαρακτηριστικά αυτά αποσκοπούν στην περιγραφή ενός ήχου από μουσικό-ακουστικής προσέγγισης (Levitin, 2006). Η αλλαγή στη συχνότητα ενός ταλαντωτή συσχετίζεται με το τονικό ύψος του ήχου που αντιλαμβανόμαστε, ενώ η αλλαγή στο πλάτος του σήματος συσχετίζεται με την μεταβολή της έντασης του αντιλαμβανόμενου ήχου (Berg & Stork, 2004). Όσο αυξάνεται η συχνότητα ενός ηχητικού κύματος,



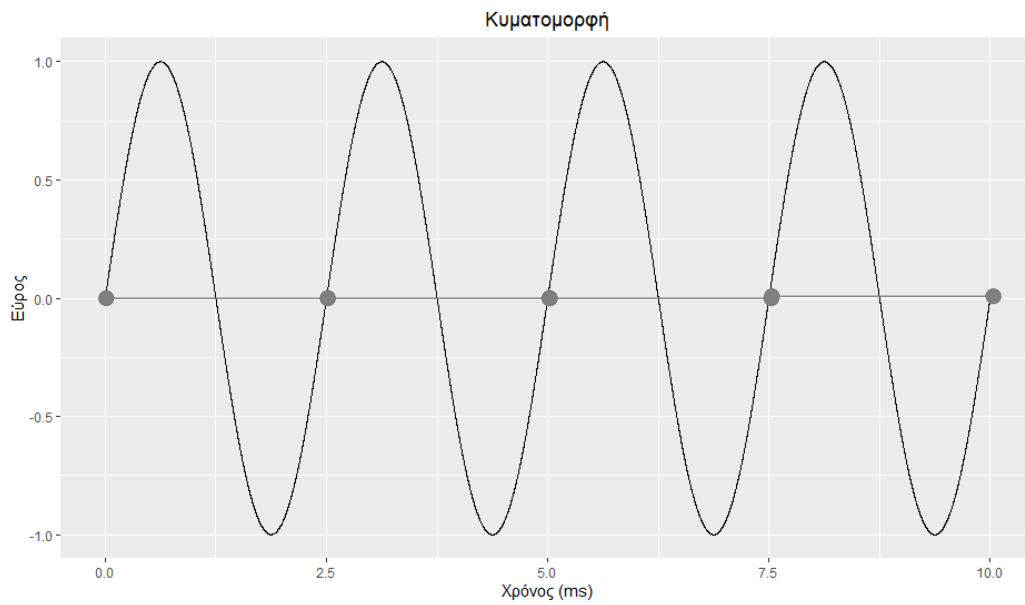
Σχήμα 2.1. Ηχητικά κύματα που: α) παραμένει σταθερό όσον αφορά τη συχνότητα (επομένως και το τονικό ύψος), αλλά μειώνεται σε ένταση, β) αυξάνεται η συχνότητα του (επομένως και το τονικό του ύψος), αλλά παραμένει σχεδόν ίδιο σε ένταση, γ) μειώνεται συγχρόνως συχνότητα – τονικό ύψος και ένταση.

τόσο μικρότερη είναι η περίοδος του και τόσο υψηλότερο είναι το τονικό του ύψος (Σχήμα 2.1) (Berg & Stork, 2004; Levitin, 2006).

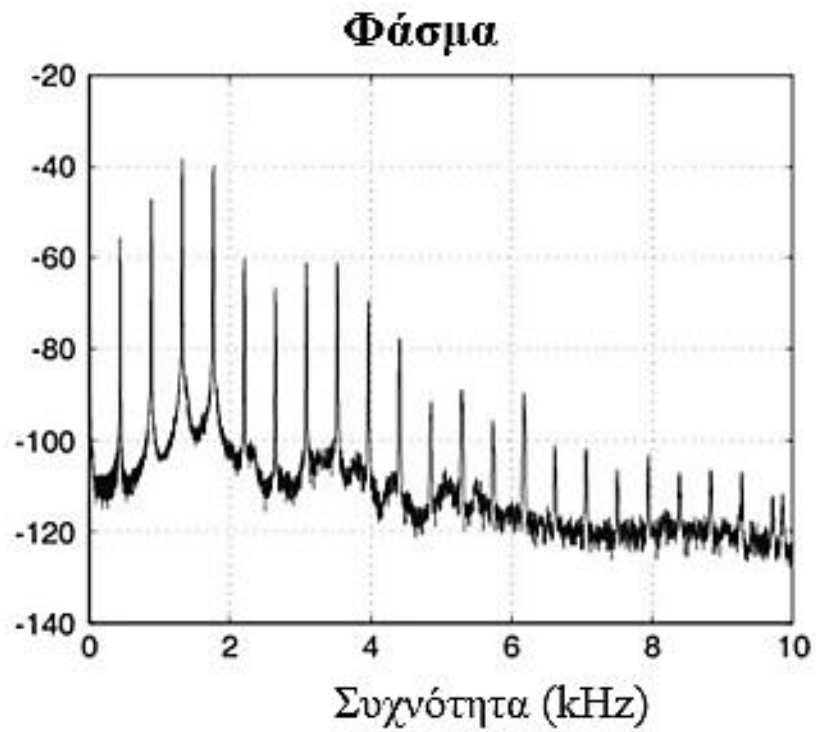
Το τονικό ύψος αναφέρεται στην ακουστική αντίληψη της συχνότητας (Ling et al., 2016). Το τονικό ύψος μας επιτρέπει να διακρίνουμε τις διαφορετικές νότες και να αντιλαμβανόμαστε την μελωδία και την αρμονία (Moore, 2013). Για ένα ημιτονοειδές κύμα, το τονικό ύψος είναι στενά συνδεδεμένο με τη συχνότητα (Moore, 2013). Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο υψηλότερο είναι και το τονικό ύψος. Για πιο σύνθετους ήχους, το τονικό ύψος συχνά διερευνάται ζητώντας από το άτομο να προσαρμόσει το ημιτονοειδές κύμα έτσι ώστε να έχει το ίδιο τονικό ύψος με τον σύνθετο

ήχο. Στη συνέχεια, η συχνότητα του ημιτονοειδούς κύματος λαμβάνεται ως μέτρο του τονικού ύψους του σύνθετου ήχου (Moore, 2013).

Οι περιοδικοί ήχοι έχουν εξ ορισμού κυματομορφές οι οποίες επαναλαμβάνονται στο χρόνο (Σχήμα 2.2) και τυπικά αρμονικά φάσματα, των οποίων οι συχνότητες είναι πολλαπλάσιες μια κοινής θεμελιώδους συχνότητας F_0 (Εικόνα 2.1) (McDermott & Oxenham, 2009). Η συχνότητα F_0 αντιστοιχεί σε μία επανάληψη της κυματομορφής. Ήχοι με μια συγκεκριμένη συχνότητα F_0 συχνά θεωρούνται ότι έχουν το ίδιο τονικό ύψος παρά το γεγονός ότι μπορεί να έχουν πολύ διαφορετικά φάσματα (McDermott & Oxenham, 2009).



Σχήμα 2.2. Απόσπασμα κυματομορφής. Η κυματομορφή επαναλαμβάνεται κάθε 2,5 ms, διάρκεια που ορίζει την περίοδο της.



Εικόνα 2.1. Φάσμα όπου οι κορυφές είναι ακέραια πολλαπλάσια της F_0 , χαρακτηριστικό ενός περιοδικού ήχου (McDermott & Oxenham, 2009).

Η ένταση του ήχου είναι η υποκειμενική αντίληψη της ισχύος ενός ηχητικού κύματος (Ling et al., 2016). Σχετίζεται άμεσα με το πλάτος του ηχητικού κύματος, ωστόσο η σχέση μεταξύ του πλάτους του ηχητικού κύματος και της αντιληπτής έντασης αυτού δεν είναι απολύτως ξεκάθαρη και επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα και η διάρκεια του (Fastl & Zwicker, 2007; Kolarik et al., 2013; Ling et al., 2016). Δύο κύματα που έχουν την ίδια συχνότητα, αυτό με το μεγαλύτερο πλάτος, είναι αυτό που ακούγεται πιο δυνατά (Σχήμα 2.1) (Berg & Stork, 2004).

Ως ηχόχρωμα χαρακτηρίζουμε το συνδυασμό συχνοτήτων και εντάσεων του ήχου (Ling et al., 2016). Το ηχόχρωμα αναφέρεται στην ποιότητα του ήχου που διακρίνει τον ήχο ενός οργάνου ή της ανθρώπινης φωνής, συγκριτικά με άλλα, ακόμα και όταν παίζουν την ίδια νότα με την ίδια ένταση (Σχήμα 2.3) (Berg & Stork, 2004; Ling et al., 2016; Moore, 2013). Στην Εικόνα 2.4 παρουσιάζονται διάφορες κυματομορφές, οι οποίες έχουν όλες την ίδια περίοδο, άρα την ίδια συχνότητα και το ίδιο τονικό ύψος. Η κύρια διαφορά τους είναι ότι ακουγόνται διαφορετικά καθώς διαφέρουν ως προς το ηχόχρωμα τους. Η διακύμανση του ηχοχρώματος για τα διαφορετικά σχήματα των κυμάτων μπορεί να αποδειχθεί χρησιμοποιώντας έναν ταλαντωτή που είναι ικανός να παράγει διαφορετικές κυματομορφές (Berg & Stork, 2004).

Το ηχόχρωμα έχει ορισθεί ως το χαρακτηριστικό της ακουστικής αίσθησης το οποίο διακρίνει τις ιδιότητες των μουσικών ήχων που δεν σχετίζονται με το τονικό ύψος, την ένταση ή τη διάρκεια τους (Bregman

& Mcadams, 2012). Πρόκειται, για ένα σύνθετο αντιληπτικό χαρακτηριστικό που προκύπτει από την αλληλεπίδραση πολλαπλών ιδιοτήτων ενός ήχου (Moore, 2013). Η αντίληψη του ηχοχρώματος εξαρτάται από την επιλεκτικότητα των συχνοτήτων του ανθρώπινου αυτιού (Moore, 2013). Σε περιπτώσεις όπου αυτή είναι εξασθενημένη, η ικανότητα ανίχνευσης διαφορών στη φασματική σύνθεση του ήχου –και ως εκ τούτου στο ηχόχρωμα– μειώνεται (Moore, 2013). Έτσι, ο ακροατής που αντιμετωπίζει ένα τέτοιο πρόβλημα θα έχει μεγαλύτερη δυσκολία στο να διακρίνει διαφορετικά μουσικά όργανα.

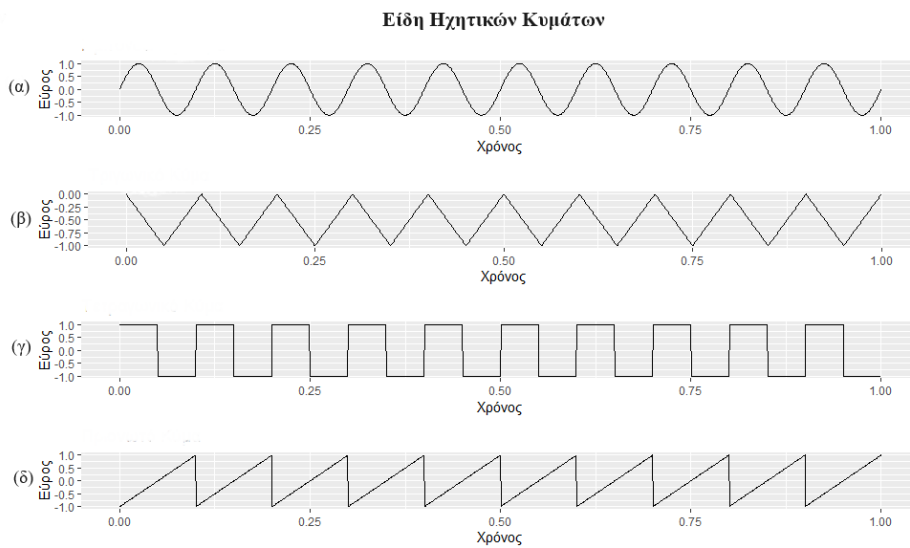
2.1.4. Περιοδικά και μη περιοδικά ηχητικά κύματα

Όλες οι κυματομορφές που παρουσιάστηκαν έχουν ως κοινό χαρακτηριστικό την ύπαρξη περιοδικότητας. Τα κύματα δεν είναι πάντα περιοδικά (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992). Αυτή είναι και η διαφορά ανάμεσα στους μουσικούς ήχους, οι οποίοι είναι πάντα περιοδικοί και στους μη μουσικούς ήχους ή στους θορύβους, οι οποίοι είναι μη περιοδικοί (Εικόνα 2.2) (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992).

Τα ηχητικά κύματα μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα περιοδικά και τα μη περιοδικά. Τα περιοδικά ηχητικά κύματα χαρακτηρίζονται από την επανάληψη την οποία παρουσιάζουν, έχουν σταθερή συχνότητα και μήκος κύματος (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992). Τα συγκεκριμένα ηχητικά κύματα, παράγουν έναν διακριτό τονικό ύψος, το οποίο είναι εύκολα αναγνωρίσιμο και μπορεί να μετρηθεί σε Hz. Παραδείγματα περιοδικών ήχων

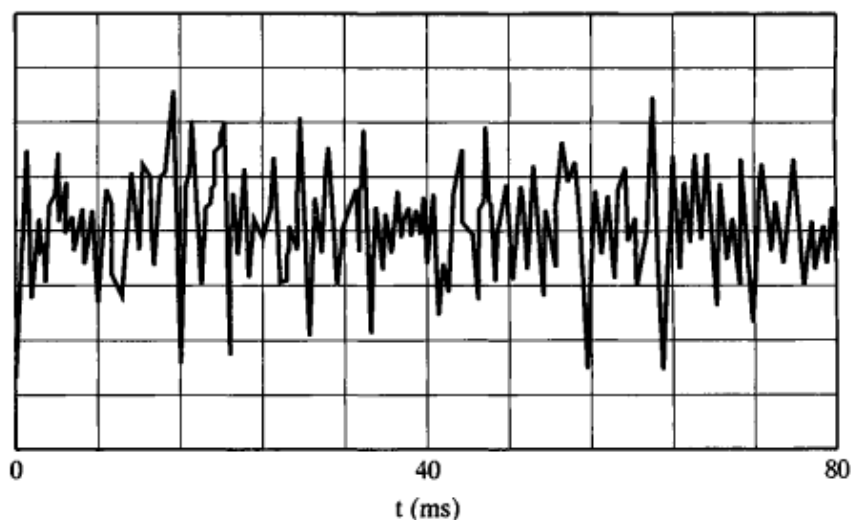
περιλαμβάνουν τους ήχους που παράγονται από μουσικά όργανα αλλά και η ανθρώπινη φωνή (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992). Σε αντίθεση με τα περιοδικά ηχητικά κύματα, τα μη περιοδικά, χαρακτηρίζονται από την έλλειψη επανάληψης και την ύπαρξη ανωμαλιών, γεγονός που υποδηλώνει ότι έχουν τυχαία συχνότητα και μήκος

κύματος (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992). Αυτά τα ηχητικά κύματα παράγουν έναν ήχο που μοιάζει με θόρυβο και δεν έχει διακριτό τονικό ύψος. Παραδείγματα τέτοιων ήχων είναι ο ήχος της κυκλοφοριακής κίνησης, ο ήχος των κεραυνών και ο άνεμος (Berg & Stork, 2004; Patterson et al., 1992).



Σχήμα

2.3. Είδη ηχητικών κυμάτων: (α) ημιτονοειδές κύμα, (β) τριγωνικό κύμα, (γ) τετραγωνικό κύμα, (δ) πριονωτό κύμα.



Εικόνα 2.2. Σχήμα κύματος "θορύβου" από αναλογικό συνθεσιποιητή (synthesizer) (Berg & Stork, 2004).

2.1.5. Χρονικά χαρακτηριστικά μουσικού ακουστικού ερεθίσματος.

Η ύπαρξη της μουσικής οφείλεται στην οργάνωση και τη σύνθεση των ήχων. Ο τρόπος με τον οποίο συνδυάζονται τα βασικά χαρακτηριστικά του ήχου (τονικό ύψος, ένταση, ηχώχρωμα) δημιουργεί την διαφορά μεταξύ μουσικής και τυχαίων ήχων (Levitin, 2006). Αυτός ο συνδυασμός είναι και η αιτία εμφάνισης εννοιών όπως ο ρυθμός, η ρυθμική ταχύτητα, το μέτρο, η μελωδία και η αρμονία (Levitin, 2006).

Τα χρονικά χαρακτηριστικά των μουσικών ακουστικών ερεθισμάτων διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον τρόπο με τον οποίο αντιλαμβανόμαστε και επεξεργαζόμαστε τη μουσική (Levitin, 2006). Ο ρυθμός, ο κτύπος, το μέτρο και η ρυθμική ταχύτητα είναι κάποια από τα βασικά χρονικά χαρακτηριστικά της μουσικής (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006). Πρόκειται για τα χαρακτηριστικά του ήχου που αναφέρονται στις ιδιότητες των ηχητικών κυμάτων, οι οποίες ποικίλλουν με την πάροδο του χρόνου (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006).

Ο ρυθμός αναφέρεται στο πρότυπο της διάρκειας και του χρονισμού των μουσικών γεγονότων, όπως η διάταξη των νोटών σε μέτρα (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006). Πρόκειται για το επαναλαμβανόμενο πρότυπο του συνδυασμού των ήχων και των παύσεων (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006).

Κτύπος είναι η βασική μονάδα του χρόνου. Πρόκειται για τον τακτικό, επαναλαμβανόμενο ήχο, ο οποίος αποτελεί τη βάση μια μουσικής

σύνθεσης. Ο κτύπος δεν έχει διάρκεια και χρησιμοποιείται για να χωρίσει τη μουσική σε ίσα χρονικά διαστήματα. (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006).

Οι κτύποι ομαδοποιούνται σε μέτρα (Cameron & Grahn, 2014; Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006). Τα μέτρα είναι επίσης μονάδες χρόνου που περιέχουν έναν σταθερό αριθμό κτύπων. Χρησιμοποιούνται με στόχο την οργάνωση της μουσικής σε μικρά επιμέρους τμήματα, και πιο συγκεκριμένα την οργάνωση των βασικών μετρικών μονάδων –δηλαδή των κτύπων– σε ισόχρονες ομάδες (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006).

Συνήθως, ο πρώτος κτύπος κάθε μέτρου τονίζεται προκειμένου να γίνει πιο ξεκάθαρη η έναρξη της ομαδοποίησης των κτύπων. Η χρονική απόσταση μεταξύ διαδοχικών κτύπων είναι αυτή που καθορίζει τη ρυθμική ταχύτητα (tempo) (Justus & Bharucha, 2002). Η ρυθμική ταχύτητα αναφέρεται στην ταχύτητα της μουσικής και μετρείται σε κτύπους ανά λεπτό (Justus & Bharucha, 2002; Levitin, 2006). Σε περιπτώσεις όπου, οι κτύποι εμφανίζονται συχνότερα (περισσότεροι κτύποι ανά χρονική μονάδα) η ρυθμική ταχύτητα αυξάνεται, ενώ όταν οι κτύποι εμφανίζονται αραιότερα (λιγότεροι κτύποι ανά χρονική μονάδα) η ρυθμική ταχύτητα μειώνεται (Patel, 2008).

Όλα τα παραπάνω χρονικά χαρακτηριστικά αλληλοεπιδρούν με στόχο τη δημιουργία περίπλοκων και δυναμικών προτύπων ήχου που γίνονται αντιληπτά ως μουσική. Έρευνες στην Ψυχολογία και στη Νευροεπιστήμη, έχουν δείξει ότι ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι

ιδιαιτέρως ευαίσθητος στα παραπάνω χρονικά χαρακτηριστικά και τα χρησιμοποιεί ώστε να επεξεργαστεί, να θυμηθεί και να κατανοήσει τις μουσικές πληροφορίες (Clark, 1999; Patel, 2008). Η κατανόηση των χρονικών χαρακτηριστικών των μουσικών ακουστικών ερεθισμάτων είναι απαραίτητη, προκειμένου να επιτευχθεί μια βαθύτερη εκτίμηση της μουσικής και να δημιουργηθούν οι γνώσεις σχετικά με τους νευρικούς μηχανισμούς που διέπουν τις μουσικές εμπειρίες (Clark, 1999; Patel, 2008).

2.2. Συγχρονισμός και αντίληψη μουσικού κτύπου

Ως αισθητικοκινητικός συγχρονισμός ορίζεται ο συντονισμός της ρυθμικής κίνησης με έναν εξωτερικό ρυθμό (π.χ. έναν μετρονόμο) (Repp & Su, 2013). Η συγκεκριμένη δραστηριότητα, επιτυγχάνεται μέσω της αντίληψης και της εξαγωγής του βασικού κτύπου του ακουστικού ερεθίσματος (Repp & Su, 2013). Η αναγνώριση και η αντίληψη του βασικού κτύπου γίνεται μέσω του νευρικού δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει τις περιοχές του ανθρώπινου εγκεφάλου, οι οποίες έχουν βασικό ρόλο στην επεξεργασία των μουσικών ρυθμών και στον κινητικό συντονισμό. Αυτές οι περιοχές είναι τα βασικά γάγγλια και η παρεγκεφαλίδα (Bégel et al., 2017).

Πριν κάποια χρόνια, ο ρόλος του ακουστικού συστήματος στον έλεγχο της κίνησης δεν απολάμβανε την ίδια σημασία συγκριτικά με το οπτικό και το ιδιοδεκτικό σύστημα (Thaut et al., 2015). Ωστόσο, η Νευροφυσιολογία και η Βιοφυσική της αισθητηριακής κινητικής συνδεσιμότητας υποδείκνυν πάντοτε ενδιαφέρουσες αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακουστικού

και κινητικού συστήματος (Thaut et al., 2015).

Πολλές μελέτες έχουν παρατηρήσει ότι τα ακουστικά ρυθμικά ερεθίσματα μπορούν να συμπαρασύρουν τις κινητικές αποκρίσεις (Thaut et al., 2015). Για παράδειγμα, στη μελέτη των Thaut και συνεργατών (1998), φάνηκε ότι οι κινήσεις των δακτύλων και των χεριών συμπαρασύρονται στην περίοδο ενός ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος (π.χ. μετρονόμου) (Thaut et al., 1998). Η κινητική προσέλκυση είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο η κίνηση, ή η συχνότητα ενός συστήματος, «προσελκύει» τη συχνότητα ενός άλλου συστήματος, παρά το γεγονός ότι όταν κινούνται ανεξάρτητα αυτά διαθέτουν διαφορετικές συχνότητες (Thaut et al., 2015). Κατά τη διαδικασία της προσέλκυσης, εξαιτίας των διαφορετικών ποσών ενέργειας που μεταφέρονται μεταξύ των κινούμενων σωμάτων λόγω ασύγχρονων περιόδων κίνησης, προκαλείται μια αρνητική ανάδραση (Pantaleone, 2002; Repp & Penel, 2004). Λόγω της ύπαρξης αυτής της αρνητικής ανάδρασης, ξεκινά η δημιουργία μιας διαδικασίας προσαρμογής, όπου η ενέργεια σταδιακά εξαλείφεται έως ότου τα κινούμενα σώματα να κινηθούν σε μια κοινή συχνότητα συντονισμού. Πιο συγκεκριμένα, ο «ισχυρότερος» ταλαντωτής «κλειδώνει» τον «ασθενέστερο», στην συχνότητα του (Pantaleone, 2002; Repp & Penel, 2004).

Η προσέλκυση της σωματικής κίνησης (κινητική προσέλκυση) εμφανίζει μεγάλο ενδιαφέρον και αξιοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις κινητικής δυσλειτουργίας, με στόχο

την βελτίωση των κινητικών λειτουργιών (Arias & Cudeiro, 2010).

2.3. Μεταβλητότητα της ανθρώπινης κίνησης

Η μεταβλητότητα της ανθρώπινης κίνησης μπορεί να περιγραφεί ως φυσιολογικές παραλλαγές, οι οποίες προκύπτουν στην κινητική απόδοση κατά την πραγματοποίηση πολλαπλών επαναλήψεων μιας συγκεκριμένης διεργασίας (Stergiou et al., 2006). Η μεταβλητότητα αυτή είναι έμφυτη σε όλα τα βιολογικά συστήματα και αντανακλά τόσο τη χωρική όσο και τη χρονική διακύμανση της κινητικής συμπεριφοράς (Stergiou et al., 2006). Επομένως, γίνεται κατανοητό ότι κάθε κίνηση που εκτελούμε χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη μεταβλητότητας (Stergiou et al., 2006). Για παράδειγμα, κατά τη βάδιση, το μήκος, το πλάτος και η ταχύτητα του κάθε βηματισμού, διαφέρουν μεταξύ τους. Ακόμα και όταν βρισκόμαστε σε ηρεμία, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το σώμα μας πραγματοποιεί μια μικρή ταλάντωση γύρω από ένα κεντρικό σημείο ισορροπίας, χωρίς να είναι εφικτό να παραμείνουμε εντελώς ακίνητοι, δηλαδή να διατηρείται μηδενική η μετατόπιση του κέντρου μάζας σώματος (Stergiou et al., 2006).

Παλαιότερα, οι κλάδοι της ΒιοΜηχανικής και της Κινησιολογίας υποστήριζαν πως η μεταβλητότητα που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη κίνηση, αποτελούσε «θόρυβο», ο οποίος δεν μπορούσε να εξηγηθεί και να χρησιμοποιηθεί (Bartlett et al., 2007). Ωστόσο, η διερεύνηση του συγκεκριμένου θέματος υπό το πρίσμα της Θεωρίας των Δυναμικών Συστημάτων, υπέδειξε πως η μεταβλητότητα της κίνησης δεν είναι εξ ολοκλήρου τυχαία και επομένως αποτελεί απαραίτητο στοιχείο για την

επίτευξη αλλαγών στο συντονισμό της κίνησης (Bartlett et al., 2007).

Το κινητικό σύστημα του ανθρώπου είναι εξοπλισμένο με περισσότερους βαθμούς ελευθερίας από όσους είναι απαραίτητοι για την εκτέλεση μιας διεργασίας μετακίνησης (Auyang et al., 2009). Κάθε διεργασία κίνησης χαρακτηρίζεται από διαφορετικούς βαθμούς ελευθερίας. Για παράδειγμα, η βάδιση είναι μια κίνηση εκ φύσεως αρκετά μεταβλητή, σε αντίθεση με τις επιτόπιες αναπηδήσεις, οι οποίες χαρακτηρίζονται από μικρότερο βαθμό ελευθερίας λόγω του μονοδιάστατου ελατηριακού μοντέλου που τις χαρακτηρίζει.

Σύμφωνα με τις παραδοσιακές θεωρήσεις της εγγενούς μεταβλητότητας της ανθρώπινης κίνησης, το κινητικό σύστημα χρησιμοποιεί αυτή τη μεταβλητότητα για να προσαρμόζεται στις διαφορετικές συνθήκες και να επιτυγχάνει μια συνεπή κινητική εκτέλεση (Stergiou et al., 2006). Η ύπαρξη αυξημένης μεταβλητότητας σε ένα πρότυπο κίνησης υποδεικνύει μικρότερη συνεργατική συμπεριφορά μεταξύ των στοιχείων που συνθέτουν το κινητικό σύστημα (Stergiou et al., 2006). Αντίθετα, η ύπαρξη μειωμένης μεταβλητότητας δείχνει την ύπαρξη σταθερής και συνεργατικής συμπεριφοράς του κινητικού συστήματος (Stergiou et al., 2006). Τέλος, η επίμονη έλλειψη μεταβλητότητας σε συνθήκες με εναλλασσόμενες απαιτήσεις, ενδέχεται να υποδηλώνει άκαμπτες κινητικές συμπεριφορές με περιορισμένη προσαρμοστικότητα (Stergiou et al., 2006). Ωστόσο πιο σύγχρονοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι οι παραδοσιακές οπτικές της

μεταβλητότητας αναφέρονται κυρίως σε στατικές συμπεριφορές και δε φαίνεται να εξηγούν επαρκώς δυναμικές συμπεριφορές, οι οποίες παρόλο που δείχνουν να είναι σταθερές, παραδόξως εκτελούνται με μεταβλητούς τρόπους (Stergiou et al., 2006). Ένα παράδειγμα μιας τέτοιας συμπεριφοράς είναι όταν παρατηρούμε αθλητές υψηλού επιπέδου να εκτελούν σύνθετες διεργασίες. Όχι μόνο παρουσιάζουν πιο συνεπή απόδοση από αυτή, των λιγότερο ικανών ατόμων, αλλά φαίνεται να έχουν αναπτύξει και άπειρους τρόπους πραγματοποίησης της ίδιας συνεπούς απόδοσης. Με αυτόν τον τρόπο, εμφανίζουν μια πολύ σταθερή συμπεριφορά, η οποία όμως χαρακτηρίζεται από πολλά διαφορετικά πρότυπα κινητικής συμπεριφοράς (Stergiou et al., 2006). Στην ίδια λογική, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι ο κάθε άνθρωπος έχει διαφορετικά πρότυπα κίνησης, τα οποία αν και έχουν τον ίδιο σκοπό καθορίζονται από τις εκάστοτε συνθήκες, (Stergiou et al., 2006). Για παράδειγμα, κατά την βάδιση ενός ατόμου σε δύο διαφορετικά εδάφη, παρατηρείται αύξηση της κινηματικής μεταβλητότητας (π.χ. στο μήκος ή στη διάρκεια βηματισμού) με στόχο την υιοθέτηση ενός κοινού συνεπούς πρότυπου βάδισης ανεξαρτήτως της επιφάνειας πάνω στην οποία αυτό εξελίσσεται.

Με βάση τις παραπάνω θεωρήσεις για την ανθρώπινη μεταβλητότητα, έχει προταθεί ένα εναλλακτικό πρότυπο για την ερμηνεία της (Stergiou et al., 2006). Σύμφωνα με αυτό, υπάρχει μια βέλτιστη τιμή μεταβλητότητας για κάθε βιολογικό σύστημα, η οποία συνδέεται άμεσα με την υγεία (Stergiou et al., 2006). Η μείωση (ή η απώλεια) της βέλτιστης

μεταβλητότητας θα μετατρέψει το εκάστοτε βιολογικό σύστημα σε περισσότερο «άκαμπτο» στην εύρεση κινητικών λύσεων, ενώ αντίθετα, η υπέρμετρη αύξηση της θα προκαλέσει ασυνέπεια στο σύστημα (μη συγκλίνουσα κινητική συμπεριφορά). Και οι δύο καταστάσεις, θα έχουν ως αποτέλεσμα να καταστεί το σύστημα λιγότερο προσαρμόσιμο σε διαταραχές και θα έχουν άμεσο αντίκτυπο στην υγεία του ατόμου (Stergiou et al., 2006).

2.4. Επίδραση ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος στην ανθρώπινη κίνηση

Η χρήση ρυθμικών ακουστικών ερεθισμάτων στην αποκατάσταση της βάδισης ορίστηκε από τους Thaut και συνεργάτες (1996) ως ρυθμική ακουστική διέγερση (ΡΑΔ). Η συγκεκριμένη μέθοδος, χρησιμοποιεί ακουστική διέγερση η οποία χαρακτηρίζεται από ακουστικά ερεθίσματα προσαρμοσμένα σε επιλεγμένες συχνότητες βάδισης. Τα διαφορετικά είδη των ακουστικών ερεθισμάτων που χρησιμοποιούνται, μπορεί να έχουν και διαφορετική επίδραση στην κίνηση (Wittwer et al., 2013). Πιο συγκεκριμένα, το είδος και τα χαρακτηριστικά του ακουστικού ερεθίσματος μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα βάδισης και το μήκος διασκελισμού (Leman et al., 2013). Στις μελέτες που έχουν διεξαχθεί, έχουν χρησιμοποιηθεί ήχοι μετρονόμου (Wittwer et al., 2013; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016), φυσικοί ήχοι βημάτων (Murgia, 2018), γνωστές μουσικές συνθέσεις, παλαμάκια (Wittwer et al., 2013) και ήχους πλήκτρων (clicks) (Ko et al., 2016). Επίσης, η υπάρχουσα βιβλιογραφία επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα των ακουστικών

ερεθισμάτων στην βελτίωση της κίνησης ασθενών με νευρολογικές παθήσεις, όπως εγκεφαλικά επεισόδια, νόσο Πάρκινσον, ή σκλήρυνση κατά πλάκας (Arias & Cudeiro, 2010; Ko et al., 2016; Murgia, 2018; Shahraki et al., 2017; Willems et al., 2006; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016).

Οι πολυάριθμες μελέτες που έχουν εξετάσει την επίδραση της ΡΑΔ σε άτομα με νόσο Πάρκινσον έχουν καταδείξει τη ΡΑΔ ως ικανή να βελτιώσει τα χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά της βάδισης των ασθενών (Baker et al., 2008; Rubinstein et al., 2002; M. Thaut et al., 1996; M. Thaut & Abiru, 2010; Willems et al., 2006).

Οι Baker και συνεργάτες (2008) μελέτησαν την επίδραση διαφορετικών ακουστικών ερεθισμάτων στην μεταβλητότητα της βάδισης ατόμων με Πάρκινσον συγκριτικά με ομάδα υγιών ατόμων. Τα ερεθίσματα τα οποία συμπεριέλαβαν στην έρευνα τους ήταν ρυθμικό ακουστικό ερέθισμα (ορισμένο σε -10% της προτιμώμενης συχνότητα βηματισμού κάθε συμμετέχοντα), προφορική οδηγία του ερευνητή, συνδυασμός των παραπάνω δύο ερεθισμάτων και τέλος συνθήκη χωρίς κανένα ακουστικό ερέθισμα (Baker et al., 2008). Τα αποτελέσματα τους υποδείκνυαν μείωση της μεταβλητότητας της διάρκειας βηματισμού, για τα άτομα με Πάρκινσον και σε όλες τις συνθήκες ύπαρξης ακουστικού ερεθίσματος. Σε αντίθεση με την παραπάνω παρατήρηση, οι ερευνητές παρατήρησαν αύξηση της μεταβλητότητας των υγιών ατόμων, χωρίς ωστόσο να υπάρχει στατιστική σημαντικότητα της διαφοράς. Ύπαρξη

σημαντικότητας βρέθηκε μόνο για την ομάδα των ατόμων με Πάρκινσον και για τις συνθήκες ρυθμικού ακουστικού ερεθίσματος και προφορικής οδηγίας από τον ερευνητή (Baker et al., 2008).

Συνολικά, τα άτομα με Πάρκινσον έτειναν να μειώνουν τη μεταβλητότητα της διάρκειας βηματισμού τους, με όλους τους τύπους ακουστικών ενδείξεων, σε αντίθεση με την ομάδα ελέγχου υγιών ατόμων, οι οποίοι παρουσίασαν αύξηση της μεταβλητότητας τους για όλες τις συνθήκες ακουστικών ερεθισμάτων (Baker et al., 2008). Μια πιθανή εξήγηση στην οποία κατέληξαν οι ερευνητές είναι ότι σε υγιείς ενήλικες, οι ακουστικές ενδείξεις ενδεχομένως να διαταράσσουν το φυσιολογικό πρότυπο βάδισης, λόγω της αυξημένης απαίτησης προσοχής για την πραγματοποίηση της κινητικής διεργασίας ενώ ταυτόχρονα παρακολουθούν το ακουστικό ερέθισμα. Αντίθετα, τα άτομα με Πάρκινσον φαίνεται να μην επηρεάζονται πιθανόν γιατί, ούτως ή άλλως, βασίζονται περισσότερο σε εξωτερικά ερεθίσματα προκειμένου να πραγματοποιήσουν τις κινητικές τους διεργασίες (Baker et al., 2008).

2.5. Επιδράσεις διαφορετικών ρυθμικών ταχυτήτων του ακουστικού ερεθίσματος στην κίνηση.

Στη μελέτη των Willems και συνεργατών (2006), οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στη διερεύνηση της επίδρασης των ρυθμικών ακουστικών ερεθισμάτων στο μήκος βηματισμού σε άτομα με Πάρκινσον καθώς και στον προσδιορισμό της βέλτιστης συχνότητας του ερεθίσματος για τον ασθενή (Willems et al., 2006). Η

μελέτη περιλάμβανε άτομα με Πάρκινσον και υγιή άτομα, ως ομάδα ελέγχου. Τα ακουστικά ερεθίσματα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κτύποι μετρονόμου σε συχνότητα ίδια με την ιδιοσυχνότητα βάρδισης του εκάστοτε συμμετέχοντα, κτύποι μετρονόμου 10% και 20% πάνω από την ιδιοσυχνότητα και τέλος κτύποι μετρονόμου 10% και 20% κάτω από την ιδιοσυχνότητα των συμμετεχόντων (Willems et al., 2006). Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης έδειξαν επίδραση της ΡΑΔ στο μήκος διασκελισμού μόνο στα άτομα που νοσούν από Πάρκινσον. Το μήκος διασκελισμού της ομάδας ελέγχου δεν άλλαξε σε καμία συνθήκη (Willems et al., 2006). Ωστόσο, σε αντίθεση με προηγούμενες μελέτες, το μήκος διασκελισμού των ασθενών, δεν αυξήθηκε για την συχνότητα +10% αλλά για την συχνότητα -10%, ενδεχομένως γιατί αυτή επιβάλλει πιο αργή κίνηση, η οποία επιτρέπει μεγαλύτερο χρονικό παράθυρο για τη ρύθμιση των παραμέτρων βάρδισης (Willems et al., 2006).

Στη συνθήκη όπου τα ακουστικά ερεθίσματα είχαν ίδια συχνότητα με την προτιμώμενη του κάθε συμμετέχοντα, τόσο οι ασθενείς όσο και η ομάδα ελέγχου, αύξησαν τη συχνότητα βηματισμού τους (Willems et al., 2006). Μια πιθανή εξήγηση για το παραπάνω αποτέλεσμα ενδεχομένως να είναι ότι, τα ρυθμικά ακουστικά ερεθίσματα έχουν μια γενική διεγερτική δράση, η οποία όμως δεν φάνηκε να έχει επίδραση στην ταχύτητα της βάρδισης (Willems et al., 2006).

Συγκεντρωτικά, οι ερευνητές βάσει των αποτελεσμάτων τους, πρότειναν ότι η συχνότητα ακουστικού ερεθίσματος +10% από την

προτιμώμενη συχνότητα του ατόμου οδηγεί σε φυσιολογικές συχνότητες βηματισμού για τα άτομα με Πάρκινσον (Willems et al., 2006). Επίσης, παρά το γεγονός ότι κατά τη χρήση ΡΑΔ δεν ήταν εφικτές φυσιολογικές τιμές ταχύτητας βάρδισης και μήκους διασκελισμού, η συνθήκη +10%, φάνηκε να είναι καλύτερη για αύξηση της ταχύτητας, ενώ η συνθήκη -10% καλύτερη για αύξηση του μήκους διασκελισμού (Willems et al., 2006).

Σε μελέτη που επικεντρώνεται σε υγιή πληθυσμό, οι Minino και συνεργάτες (2021) διερεύνησαν την επίδραση διαφορετικών τύπων ΡΑΔ στην βάρδιση και στη στατική σταθερότητα υγιών ηλικιωμένων ατόμων (Minino et al., 2021). Εντοπίζοντας το κενό στην τρέχουσα βιβλιογραφία, οι ερευνητές θέλησαν να μελετήσουν την επίδραση της ΡΑΔ στη βελτίωση της βάρδισης σε υγιή ηλικιωμένο πληθυσμό. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος με τον οποίο τα ακουστικά ερεθίσματα και η ΡΑΔ επηρεάζουν τη βάρδιση δεν έχει διασαφηνιστεί πλήρως. Μερικές μελέτες υιοθετούν τη χρήση ΡΑΔ σταθερών συχνοτήτων (δηλαδή, ανεξάρτητες από την ιδιοσυχνότητα βάρδισης κάθε συμμετέχοντα) οι οποίες κυμαίνονται από 60 έως 150 bpm (del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012). Από την άλλη πλευρά, άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνότητες, οι οποίες βασίζονται στην ιδιοσυχνότητα του κάθε συμμετέχοντα (Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015). Συνολικά, έχει διαπιστωθεί ότι ένα ταχύτερο ερέθισμα επηρεάζει πολλαπλές παραμέτρους της βάρδισης, όπως το μήκος διασκελισμού, τη συχνότητα και την ταχύτητα βηματισμού, συγκριτικά με τη βάρδιση

χωρίς κανένα ερέθισμα (Minino et al., 2021). Ωστόσο δεν έχει βρεθεί η πιο αποτελεσματική συχνότητα διέγερσης για τη βελτίωση της ισορροπίας και της βάδισης (Minino et al., 2021).

Σε αυτό το πλαίσιο, οι Minino και συνεργάτες (2021) θέλησαν να επαληθεύσουν την θετική επίδραση της ΡΑΔ στην βάδιση υγιών ηλικιωμένων ατόμων, εξετάζοντας χωρο-χρονικές παραμέτρους αυτής. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν ΡΑΔ συχνότητας 80 και 120 bpm. Τα αποτελέσματα τους υπέδειξαν ότι η ΡΑΔ των 80 bpm, συγκριτικά με τη συνθήκη χωρίς κανένα ακουστικό ερέθισμα, προκάλεσε μείωση της ταχύτητας βάδισης και αύξηση των διαρκειών στήριξης, αιώρησης καθώς και της διάρκειας του κύκλου κίνησης, υποδεικνύοντας την ικανότητα των συμμετεχόντων να συγχρονίζονται με το ερέθισμα (Minino et al., 2021). Επίσης, η συγκεκριμένη συχνότητα προκάλεσε μείωση του μήκους διασκελισμού και αύξηση της μεταβλητότητας των διαρκειών στήριξης και αιώρησης, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη αστάθεια (Minino et al., 2021). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα συμφωνούν με τους Del Olmo και συνεργάτες (2005) οι οποίοι βρήκαν ότι, τόσο σε άτομα με Πάρκινσον όσο και στα υγιή άτομα, μια χαμηλή συχνότητα ερεθίσματος προκαλεί μείωση του μήκους διασκελισμού και αύξηση των μέτρων μεταβλητότητας της βάδισης (del Olmo & Cudeiro, 2005). Για τη συχνότητα της ΡΑΔ στα 120 bpm παρατηρήθηκε ότι, συγκριτικά με τη βάδιση χωρίς ερέθισμα, η ταχύτητα βάδισης και το μήκος διασκελισμού αυξάνονται ενώ οι διάρκειες στήριξης, αιώρησης και κύκλου κίνησης μειώνονται (Minino et al., 2021). Συνολικά, βάσει των

αποτελεσμάτων της συγκεκριμένης έρευνας, τα δεδομένα υποδηλώνουν ότι η βάδιση υγιών ηλικιωμένων ατόμων βελτιώνεται με την ύπαρξη ΡΑΔ (Minino et al., 2021). Όσον αφορά τις διαφορετικές συχνότητες που διερευνήθηκαν, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ΡΑΔ με χαμηλή συχνότητα (80 bpm) είχε ως αποτέλεσμα την ύπαρξη χαμηλότερης βαδιστικής σταθερότητας συγκριτικά με τη υψηλότερη συχνότητα ερεθίσματος (120 bpm), η οποία φάνηκε να βελτιώνει τη δυναμική βαδιστική σταθερότητα, σε υγιείς ηλικιωμένους ανθρώπους (Minino et al., 2021).

Οι ερευνητές (Minino et al., 2021), προκειμένου να ελέγξουν την υπόθεση ότι η προσαρμογή της ΡΑΔ σε συγκεκριμένη συχνότητα, βασισμένη στην ατομική ιδιοσυχνότητα του εκάστοτε συμμετέχοντα είναι πιο αποτελεσματική μέθοδος, αξιολόγησαν στον ίδιο πληθυσμό την επίδραση συχνοτήτων, βασισμένων στην βαδιστική ιδιοσυχνότητα (Minino et al., 2021). Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποίησαν ΡΑΔ, χαμηλότερη (-10%), ίση (100%) και υψηλότερη (+10%) της βαδιστικής ιδιοσυχνότητας κάθε συμμετέχοντα (Arias & Cudeiro, 2010; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015). Τα αποτελέσματα της σύγκρισης των χρονικών παραμέτρων (μεταξύ της βάδισης χωρίς ακουστικό ερέθισμα και της βάδισης με ΡΑΔ -10%) έδειξαν ότι η ΡΑΔ μείωσε την ταχύτητα βάδισης και αύξησε τις διάρκειες στήριξης, αιώρησης και κύκλου κίνησης (Minino et al., 2021). Ωστόσο, δεν υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στις χωρικές παραμέτρους και στην μεταβλητότητα. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια μικρή μείωση της

ταχύτητας βάρδισης χωρίς όμως να υπάρχει και μείωση της δυναμικής σταθερότητας της κίνησης. Επίσης, στη συνθήκη με ΡΑΔ +10%, φάνηκε να αυξάνεται η ταχύτητα και το μήκος διασκελισμού, ενώ ταυτόχρονα υπήρξε μείωση στις διάρκειες στήριξης, αιώρησης και κύκλου κίνησης, χωρίς να επηρεάζεται ο συντελεστής μεταβλητότητας (Minino et al., 2021). Συνολικά, φάνηκε ότι οι αλλαγές που προκύπτουν στη συχνότητα +10% έχουν ως αποτέλεσμα καλύτερο έλεγχο της ταλάντωσης του σώματος και κατά συνέπεια επιτυγχάνεται βελτιωμένη δυναμική σταθερότητα κατά την εκτέλεση της κίνησης (Minino et al., 2021).

Από τη μελέτη των Minino και συνεργατών (2021) αναδεικνύεται ότι η επίδραση της ΡΑΔ στη βάρδιση εξαρτάται από την συχνότητα της (Minino et al., 2021). Η επιλογή συχνοτήτων βάση της ιδιοσυχνότητας του κάθε ατόμου φαίνεται ως πιο ολοκληρωμένη στρατηγική προσέγγισης, καθώς η μη συνεκτίμηση των ατομικών χαρακτηριστικών ενδεχομένως να συνεπάγεται και την εφαρμογή ερεθισμάτων που θα είναι επιζήμια στην συνολική κίνηση (Minino et al., 2021). Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουν οι ερευνητές, έρχεται σε συμφωνία με τους Jochymczyk και συνεργάτες (2019), οι οποίοι αναφέρουν πως κάθε διαδικασία αποκατάστασης της βάρδισης θα πρέπει να προσαρμόζεται στις ανάγκες του κάθε συμμετέχοντα προκειμένου να επιτευχθεί των παραμέτρων της κίνησης (Jochymczyk et al., 2019).

Οι Nowakowska-Lipiec και συνεργάτες (2021) διερεύνησαν την επίδραση βραχυπρόθεσμων ρυθμικών

ερεθισμάτων στη μεταβλητότητα της βάρδισης, σε υγιή άτομα (Nowakowska-Lipiec et al., 2021). Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν διαφορετικά είδη ακουστικών ερεθισμάτων, όπως άρρυθμο ηχητικό ερέθισμα ατμοσφαιρικής αίσθησης το οποίο αναπαράχθηκε με ρυθμική ταχύτητα 120 bpm, ρυθμικό ερέθισμα συχνότητας παρόμοιας με τη βαδιστική ιδιοσυχνότητα του συμμετέχοντα, ρυθμικό ερέθισμα συχνότητας +10% της ιδιοσυχνότητας του κάθε συμμετέχοντα, και τέλος ρυθμικό ακουστικό ερέθισμα συχνότητας διπλάσιας από ιδιοσυχνότητα κάθε συμμετέχοντα (Nowakowska-Lipiec et al., 2021). Τέλος, χώρισαν τους συμμετέχοντες σε δύο ομάδες, με την Ομάδα 1 να μην έχει ενημερωθεί για το σκοπό της έρευνας και να μην έχει λάβει οδηγίες να προσπαθήσει να ακολουθήσει το μουσικό κτύπο και την Ομάδα 2 να έχει λάβει οδηγία για προσαρμογή της βάρδισης στον ακροαζόμενο ήχο (Nowakowska-Lipiec et al., 2021).

Τα αποτελέσματα της μελέτης των Nowakowska-Lipiec και συνεργατών (2021) έδειξαν ότι οι χρονικές και οι χωρικές παράμετροι της βάρδισης δεν διέφεραν σημαντικά ανάμεσα στις δύο ομάδες. Στην Ομάδα 2, το μήκος διασκελισμού και η διάρκεια του κύκλου κίνησης αυξήθηκαν, ενώ η συχνότητα και το πλάτος του βηματισμού ήταν μειωμένα. Για τη συνθήκη με το ηχητικό ερέθισμα ατμοσφαιρικής αίσθησης, σημειώθηκαν αυξημένο μήκος διασκελισμού και μειωμένη συχνότητα βηματισμού. Αυτό μπορεί να οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, το συγκεκριμένο ακουστικό ερέθισμα παρείχε στους συμμετέχοντες ένα γενικό αίσθημα χαλάρωσης (Nowakowska-Lipiec et al., 2021).

Όσον αφορά τη μεταβλητότητα των παραμέτρων της βάδισης, φάνηκε ότι η Ομάδα 2, δηλαδή η ομάδα που έλαβε οδηγίες για να προσπαθήσει να βαδίσει σύμφωνα με τον ακροαζόμενο ήχο, είχε πολύ μεγαλύτερη μεταβλητότητα από την Ομάδα 1 (συμμετέχοντες που δεν είχαν λάβει οδηγίες). Σύμφωνα με τα παραπάνω, οι ερευνητές υποστήριξαν ότι η παροχή οδηγιών στους συμμετέχοντες σχετικά με το πώς να ανταποκριθούν στα ηχητικά ερεθίσματα φαίνεται να έχει σημαντικό ρόλο στην επίδραση των ακουστικών ερεθισμάτων στις παραμέτρους κίνησης (Nowakowska et al., 2021).

Συνολικά, σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία, η ΡΑΔ έχει επίδραση στις χωρο-χρονικές παραμέτρους της βάδισης και σε υγιή άτομα (Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Roerdink et al., 2011; Schreiber et al., 2016; Terrier & Dériaz, 2012; Wittwer et al., 2013).

2.6. Δοκιμασίες αξιολόγησης της επίδρασης της ρυθμικής ακουστικής διέγερσης στην ανθρώπινη κίνηση.

Οι δοκιμασίες κρούσεων (δακτύλων και ποδιών) έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως για την ποσοτικοποίηση της αταξίας (Notermans et al., 1994), την αξιολόγηση της αποκατάστασης από εγκεφαλικό επεισόδιο (Heller et al., 1987) και της νόσου Αλτσχάιμερ (Ott et al., 1995). Η δοκιμασία δακτυλικών κρούσεων είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη για την αξιολόγηση της κινητικότητας ασθενών με νευρολογικές παθήσεις (Giovannoni et al., 1999). Οι κρούσεις ποδιών είναι επίσης μια αποδεδειγμένα αξιόπιστη και έγκυρη

δοκιμασία μέτρησης της κινητικότητας ασθενών με νόσο Πάρκινσον (Gunzler et al., 2009).

Οι Djuric-Jovicic και Jecmenica-Lukic (2016), πρότειναν ένα νέο σύστημα αισθητήρων για την ποσοτική και ποιοτική αξιολόγηση των κρούσεων δακτύλων και ποδιών σε ασθενείς με νευρολογικές παθήσεις και σε υγιή άτομα (Djuric-Jovicic & Jecmenica-Lukic, 2016). Το σύστημα περιλάμβανε αδρανειακούς αισθητήρες που τοποθετήθηκαν στα άκρα του δείκτη και του αντίχειρα και στην πάνω πλευρά του ποδιού. Έκτος των αδρανειακών αισθητήρων, συμπεριέλαβαν και έναν αισθητήρα δύναμης που τοποθετήθηκε στην άκρη του δακτύλου και μια δυναμοπλατφόρμα για την αξιολόγηση της δύναμης της κρούσης του ποδιού (Djuric-Jovicic & Jecmenica-Lukic, 2016). Στη συνέχεια, τα ποσοτικά δεδομένα που εξήγαγαν περιλάμβαναν τις διάρκειες, τον αριθμό, την ταχύτητα, τη δύναμη και τις γωνίες μεταξύ δακτύλων ή μεταξύ ποδιού και εδάφους, κατά την εκτέλεση των κρούσεων. Το σύστημα που πρότειναν οι ερευνητές ήταν ικανό να μετρήσει δεδομένα κρούσεων δακτύλων και ποδιών από ασθενείς ακόμα και σε περιπτώσεις όπου η κινητικότητα τους ήταν ισχυρά περιορισμένη (Djuric-Jovicic & Jecmenica-Lukic, 2016).

Η επίδραση των ρυθμικών ακουστικών ερεθισμάτων στην κίνηση, έχει διερευνηθεί κυρίως για τη βάδιση (Arias & Cudeiro, 2010; Baker et al., 2008; Dickstein & Plax, 2012; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Minino et al., 2021; Murgia, 2018; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Roerdink et al., 2011; Rubinstein et al., 2002; Schreiber et al., 2016; Shahraki

et al., 2017; Terrier & Dériaz, 2012; M. Thaut et al., 1996; Willems et al., 2006; Wittwer et al., 2013; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016). Ωστόσο ορισμένες έρευνες έχουν εξετάσει την παραπάνω σχέση και έχουν χρησιμοποιήσει τη ΡΑΔ με στόχο τη μείωση της μεταβλητότητας κινήσεων των χεριών και των δακτύλων (Freeman et al., 1993). Οι Freeman και συνεργάτες (1993), επιβεβαιώνοντας προηγούμενες μελέτες, παρατήρησαν ότι οι ασθενείς με Πάρκινσον ήταν εξαρτημένοι από εξωτερικά χρονικά ερεθίσματα για να διατηρήσουν τη συχνότητα κίνησης τους στην δοκιμασία των δακτυλικών κρούσεων (Freeman et al., 1993). Επίσης, η παράσυρση, ο συγχρονισμός και η ικανότητα διατήρησης της συχνότητας κίνησης έχουν ελεγχθεί πειραματικά χρησιμοποιώντας δοκιμασίες δακτυλικών κρούσεων (Repp, 2005; Repp & Su, 2013).

Οι Rose και συνεργάτες (2019), θέλησαν να συγκρίνουν διαφορετικά είδη κινήσεων, με στόχο να διερευνηθούν οι δυνατότητες της ΡΑΔ πέραν της βάδισης (Rose et al., 2019). Πιο συγκεκριμένα, συμπεριέλαβαν μετρονομικά και μουσικά ακουστικά ερεθίσματα κατά την εκτέλεση δακτυλικών κρούσεων, ποδικών κρούσεων και επιτόπιας βάδισης σε ηλικιωμένους και νέους υγιείς ενήλικες καθώς και σε άτομα με Πάρκινσον (Rose et al., 2019). Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι το μουσικό ακουστικό ερέθισμα και η δοκιμασία της επιτόπιας βάδισης, είναι πιο αποτελεσματικά για τα άτομα με Πάρκινσον προκειμένου αυτά να διατηρήσουν την παράσυρση τους στη συχνότητα του ακουστικού ερεθίσματος, συγκριτικά με το μετρονομικό ερέθισμα και τις

δοκιμασίες δακτυλικών και ποδικών κρούσεων (Rose et al., 2019). Επίσης, σε όλες τις πειραματικές ομάδες, η δοκιμασία της επιτόπιας βάδισης φάνηκε να είναι πιο αποτελεσματική από τις δακτυλικές κρούσεις, και ακόμη περισσότερο από τις ποδικές κρούσεις (δάκτυλα ποδιού) σε ότι αφορά την κινητική παράσυρση, τον συγχρονισμό και τη διατήρηση της συχνότητας κίνησης (Rose et al., 2019). Οι ερευνητές υποστήριξαν ότι η συγκεκριμένη δοκιμασία θέτει όλους τους συμμετέχοντες στην ίδια βάση, διευκόλυντας τους νοσούντες από Πάρκινσον, καθώς η συγκεκριμένη κίνηση (επιτόπια βάδιση) προκύπτει πιο αυθόρμητα για εκείνους συγκριτικά με τις άλλες (Rose et al., 2019).

Στην μελέτη των Tanigawa και συνεργατών (2017), οι ερευνητές θέλησαν να αξιολογήσουν την αποτελεσματικότητα της χρήσης των δοκιμασιών των επιτόπιων κρούσεων δακτύλων και ποδιών ως δείκτες αξιολόγησης της λειτουργικότητας των άνω και κάτω άκρων στην πολλαπλή σκλήρυνση κατά πλάκας (Tanigawa et al., 2017). Η μελέτη περιλάμβανε τρεις ομάδες: υγιή άτομα, ως ομάδα ελέγχου, άτομα με υποτροπιάζουσα – διαλείπουσα πολλαπλή σκλήρυνση και άτομα με προοδευτική σκλήρυνση κατά πλάκας. Αρχικά πραγματοποίησαν σύγκριση μεταξύ της ευαισθησίας των κρούσεων των τριών ομάδων έτσι ώστε να προσδιορίσουν τις υπάρχουσες διαφορές ανάλογα με το βαθμό αναπηρίας κάθε ομάδας συμμετεχόντων (Tanigawa et al., 2017). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι κρούσεις δακτύλων και ποδιών είχαν συγκρίσιμες τιμές μεταξύ της ομάδας με υποτροπιάζουσα – διαλείπουσα πολλαπλή σκλήρυνση

και της ομάδας υγιών ατόμων, ενώ η ομάδα με προοδευτική σκλήρυνση κατά πλάκας είχε σημαντικά μειωμένη ικανότητα κρούσεων ($p < 0.0001$), τόσο με τα δάκτυλα όσο και με τα πόδια (Tanigawa et al., 2017). Για τον έλεγχο της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων στις παραπάνω δοκιμασίες, πραγματοποίησαν τις ίδιες συγκρίσεις μεταξύ των πειραματικών ομάδων, αυτή τη φορά όμως χρησιμοποιώντας δοκιμασίες λεπτών κινήσεων των δακτύλων (π.χ. δοκιμασία με ακίδες και τρύπες) και χρονομετρημένων μετρήσεων νευρολογικών λειτουργιών (π.χ. βάδισης), δοκιμασίες που ως τότε χρησιμοποιούνταν για την αξιολόγηση της λειτουργικότητας (Tanigawa et al., 2017). Τα αποτελέσματα αυτών των συγκρίσεων ήταν ίδια με αυτά για τις δοκιμασίες των κρούσεων δακτύλων και ποδιών. Δηλαδή προέκυψαν συγκρίσιμες τιμές για τις δύο πρώτες ομάδες (ομάδας με υποτροπιάζουσα – διαλείπουσα πολλαπλή σκλήρυνση και ομάδας υγιών ατόμων) αλλά όχι για την ομάδα με προοδευτική σκλήρυνση κατά πλάκας (Tanigawa et al., 2017).

Στη συνέχεια, αξιολόγησαν τη συσχέτιση των επιτόπιων κρούσεων δακτύλων συγκριτικά με τις λεπτές κινήσεις των δακτύλων και των επιτόπιων κρούσεων των ποδιών συγκριτικά με τις χρονομετρημένες μετρήσεις νευρολογικών λειτουργιών. Τα αποτελέσματα υπέδειξαν ότι οι παραπάνω δοκιμασίες συσχετίζονται ισχυρά (Spearman rho -0.708, $p < 0.0001$ και Spearman rho -0.795, $p < 0.0001$, αντίστοιχα) (Tanigawa et al., 2017). Τέλος, παρατήρησαν ισχυρές στατιστικά συσχετίσεις μεταξύ των αποτελεσμάτων των δύο τύπων κρούσεων (δακτύλων και ποδιών) συγκριτικά με κλίμακες αξιολόγησης

της σοβαρότητας της πολλαπλής σκλήρυνσης (Tanigawa et al., 2017).

Συνοψίζοντας, οι Tanigawa και συνεργάτες (2017), βάσει των αποτελεσμάτων τους, πρότειναν τις δοκιμασίες δακτυλικών και ποδικών κρούσεων ως πιθανές εναλλακτικές αξιολόγησης, βασιζόμενοι στην μεγαλύτερη ευκολία πραγματοποίησης τους συγκριτικά με τις μέχρι τότε κοινά εφαρμοζόμενες μεθόδους (Tanigawa et al., 2017). Απώτερος στόχος ήταν η ενσωμάτωση των δοκιμασιών δακτυλικών και ποδικών κρούσεων -συνδυαστικά με τις κλίμακες αξιολόγησης- σε εφαρμογές κινητού τηλεφώνου, έτσι ώστε να είναι εφικτή μια έγκυρη ατομική αξιολόγηση από τον ίδιο τον πάσχοντα.

2.7. Επίδραση ακουστικών ερεθισμάτων στην κίνηση ατόμων με μη τυπική οπτική οξύτητα

Οι άνθρωποι αλληλοεπιδρούν με τους ήχους του περιβάλλοντος. Η ικανότητα παρακολούθησης της κίνησης των ακουστικών πηγών, επιτρέπει στον άνθρωπο να προβλέπει τα αποτελέσματα της κίνησης και να ενεργεί αναλόγως (Bertonati et al., 2021). Για παράδειγμα, η αντίληψη του ήχου ενός τρένου τη στιγμή που πρόκειται κάποιος να διασχίσει τις γραμμές, είναι ταυτόχρονα και η αιτία αποφυγής του. Αυτή η ακουστική ικανότητα καθίσταται ακόμη πιο κρίσιμη σε περιπτώσεις όπου τα οπτικά ερεθίσματα απουσιάζουν (Bertonati et al., 2021). Όταν ένας ήχος συνοδεύει ένα κινούμενο ερέθισμα, ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ικανός να εξάγει τόσο χωρικές όσο και χρονικές πληροφορίες από αυτόν, υπολογίζοντας ακόμα και την ταχύτητα κίνησής του (Bertonati et al., 2021).

Για το σύνολο του ανθρώπινου πληθυσμού έχει διαπιστωθεί ότι σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιούνται τόσο οπτικά όσο και ακουστικά ερεθίσματα για τον καθορισμό χωρικών θέσεων, η όραση συνήθως κυριαρχεί στον προσδιορισμό τους (Mateeffh et al., 1985; Pick et al., 1969; Stekelenburg & Vroomen, 2009). Η εξήγηση της παραπάνω διαπίστωσης έγκειται στο γεγονός ότι η όραση είναι ικανή να καθορίσει την τοποθεσία με μεγαλύτερη ακρίβεια από την ακοή (Alais & Burr, 2004). Σημαντική απόδειξη του παραπάνω γεγονότος αποτελεί η παρατήρηση ότι σε περιπτώσεις όπου τα οπτικά ερεθίσματα είναι θολά, η αίσθηση που κυριαρχεί πλέον για τον προσδιορισμό των χωρικών πληροφοριών είναι η ακοή (Alais & Burr, 2004). Ωστόσο, η όραση δεν υπερτερεί πάντα της ακοής. Έρευνες έχουν διαπιστώσει ότι η ακοή κυριαρχεί στην επεξεργασία των χρονικών χαρακτηριστικών των ακουστικών ερεθισμάτων (Aschersleben & Bertelson, 2003; Burr et al., 2009; Fendrich & Corballis, 2001; Freeman et al., 2014; Guttman et al., 2005).

Γίνεται κατανοητό λοιπόν πως το μεγαλύτερο μέρος των χωρικών πληροφοριών προσλαμβάνεται μέσω της όρασης (Alais & Burr, 2004; Lahav & Mioduser, 2005). Κατά συνέπεια, οι άνθρωποι με προβλήματα όρασης στερούνται ενός σημαντικού μέσου αλληλεπίδρασης με το περιβάλλον. Ως αποτέλεσμα, αντιμετωπίζουν σημαντικές δυσκολίες στη δημιουργία μια λεπτομερούς χωρικής αναπαράστασης για την πλοήγηση τους στο χώρο (Lahav & Mioduser, 2005). Έτσι, έχουν αναπτύξει την ικανότητα τους να κινούνται σε άγνωστα περιβάλλοντα, βασιζόμενοι κυρίως σε ακουστικές και

απτικές πληροφορίες (Lahav & Mioduser, 2005).

Σε αυτή την περίπτωση, η ακοή παρέχει πληροφορίες σχετικά με την τοποθεσία των στόχων, τόσο σε κοντινή όσο και σε μακρινή απόσταση (Blauert, 1997). Η κατεύθυνση, η διάρκεια, η ένταση και η εμβέλεια των ακουστικών ερεθισμάτων, συμβάλλουν στο σχηματισμό ενός γνωστικού χωρικού χάρτη (Gaver, 1993; Papadopoulos et al., 2012). Επομένως, τα άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα χρησιμοποιούν την ακοή, αλλά και τις αισθήσεις της αφής και οσμής, προκειμένου να αποκτήσουν επίγνωση των χωρικών πληροφοριών του περιβάλλοντος (Amadeo et al., 2020; Gori et al., 2018; Moldoveanu et al., 2015).

Έχει αποδειχθεί ότι άτομα με περιορισμό ή έλλειψη όρασης, διατηρούν μια καλή απόδοση σχετικά με τις χρονικές πληροφορίες (Hötting & Röder, 2009; Van Der Lubbe et al., 2010; Vercillo et al., 2016). Ωστόσο, αντικρουόμενα αποτελέσματα έχουν προκύψει για την επεξεργασία των χωρικών πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, έχει φανεί ότι η τύφλωση συσχετίζεται με ενισχυμένες ακουστικές χωρικές ικανότητες (Lessard et al., 1998; Röder et al., 1999; Voss et al., 2004), οι οποίες πιθανώς οφείλονται στους μηχανισμούς πλαστικότητας του φλοιού (Gougoux et al., 2005; Weeks et al., 2000). Από την άλλη πλευρά, τυφλά άτομα ανέφεραν μειωμένες χωρικές δεξιότητες (Gori et al., 2014; Vercillo et al., 2016; Voss et al., 2015), οι οποίες έχουν ερμηνευθεί μέσω του θεμελιώδους ρόλου της όρασης στη βαθμονόμηση των διαφορετικών αισθητηριακών μηχανισμών για τις χωρικές αναπαραστάσεις. Τέλος,

σύμφωνα με άλλες μελέτες, έχει διαπιστωθεί ότι σε περιπτώσεις όπου υπάρχει έλλειψη όρασης, τα άτομα χρησιμοποιούν τις χρονικές ιδιότητες ενός ακουστικού γεγονότος με σκοπό να εξάγουν τις χωρικές πληροφορίες του (Amadeo et al., 2020; Gori et al., 2018).

Όπως ήδη αναφέρθηκε, ο ανθρώπινος εγκέφαλος αξιοποιεί τα ακουστικά ερεθίσματα για τον προσδιορισμό διάφορων χρονικών χαρακτηριστικών του κινούμενου ήχου. Οι χρονικές ενδείξεις φαίνεται να κυριαρχούν στην αντίληψη του ακουστικού ερεθίσματος όταν υπάρχει αλληλεπίδραση με κινούμενους ήχους (Freeman et al., 2014). Σε συμφωνία με τον Freeman και συνεργάτες (2014), έχει υπογραμμισθεί και από άλλους ερευνητές ότι η ακοή έχει βασικότερο ρόλο στην επεξεργασία των χρονικών πληροφοριών (Burr et al., 2009; Guttman et al., 2005), σε αντίθεση με την όραση που σχετίζεται πιο άμεσα με τις χωρικές πληροφορίες (Alais & Burr, 2004; Lahav & Mioduser, 2005).

Θέλοντας να επικεντρωθούν στα χρονικά χαρακτηριστικά των ακουστικών ερεθισμάτων, ο Gandhi και συνεργάτες (2013), εξέτασαν την ύπαρξη διαφορών ανάμεσα στους χρόνους αντίδρασης σε ακουστικά ερεθίσματα σε περιπτώσεις ατόμων με έλλειψη όρασης και ατόμων με φυσιολογική όραση (Gandhi et al., 2013). Ο χρόνος αντίδρασης είναι το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής ενός ερεθίσματος και της εμφάνισης εκούσιας απόκρισης ενός ατόμου, στη λογική της ταχύτερης δυνατής απόκρισης (Teichner, 1954). Πρόκειται για ένα μέτρο της λειτουργικότητας του αισθητηριοκινητικού συστήματος

(Shenvi & Balasubramanian, 1994) και της απόδοσης του ατόμου (Das et al., 1997). Περιλαμβάνει την επεξεργασία του ερεθίσματος, τη λήψη αποφάσεων και τον προγραμματισμό της απόκρισης (Gandhi et al., 2013).

Ο Gandhi και συνεργάτες (2013), συμπεριέλαβαν στη μελέτη τους άτομα με τύφλωση αλλά και άτομα με φυσιολογική όραση (ομάδα ελέγχου). Και στις δύο ομάδες, τα μάτια καλύφθηκαν με ένα σκούρο βαμβακερό ύφασμα. Ο δείκτης του κυρίαρχου χεριού του κάθε συμμετέχοντα χρησιμοποιήθηκε για να ληφθεί ο χρόνος αντίδρασης, πιέζοντας ένα πλήκτρο τη στιγμή που άκουγαν το ακουστικό ερέθισμα. Και στις δύο ομάδες συμμετεχόντων χρησιμοποίησαν τέσσερα διαφορετικά ακουστικά ερεθίσματα (κόρνα, κουδούνι, ντέφι, σφυρίχτρα). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για στην ομάδα των τυφλών ατόμων, ο μέσος χρόνος αντίδρασης ήταν μεγαλύτερος για τα ακουστικά ερεθίσματα της κόρνας και του κουδουνιού (Gandhi et al., 2013). Αντίθετα, για τα ακουστικά ερεθίσματα του ντεφιού και της σφυρίχτρας, ο μέσος χρόνος αντίδρασης των τυφλών ατόμων ήταν συντομότερος από ότι στην ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, οι διαφορές ανάμεσα μεταξύ των τυφλών ατόμων και των ατόμων με φυσιολογική όραση δεν στατιστική σημαντικότητα (Gandhi et al., 2013). Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με την μελέτη του Bernard (1979) που έγινε σε 10 τυφλά άτομα και 10 άτομα με φυσιολογική όραση και η οποία επίσης έδειξε μη στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο αντίδρασης μεταξύ των τυφλών και μη τυφλών ατόμων (Bernard, 1979).

Επομένως παρά το γεγονός ότι τα άτομα με περιορισμό όρασης τείνουν να βασίζονται σε ακουστικές πληροφορίες για την συγκέντρωση χώρο-χρονικών χαρακτηριστικών των ερεθισμάτων του περιβάλλοντος χώρου (Amadeo et al., 2020; Gaver, 1993; Gori et al., 2018; Papadopoulos et al., 2012), έχει διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά το χρόνο κινητικής αντίδρασης ως ταχεία απόκριση σε ακουστικό ερέθισμα μεταξύ τυφλών ατόμων και ατόμων με φυσιολογική όραση (Bernard, 1979; Gandhi et al., 2013).

2.8. Σύνοψη Ανασκόπησης

Συνοψίζοντας, τα ακουστικά ερεθίσματα είναι ικανά να επηρεάσουν διάφορες μεταβλητές της κίνησης αλλά και τη συνολική μεταβλητότητα της (Baker et al., 2008; del Olmo & Cudeiro, 2005; Freeman et al., 1993; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021). Έρευνες που έχουν μελετήσει την επίδραση των ακουστικών ερεθισμάτων στην κίνηση ατόμων που πάσχουν από νευρολογικές διαταραχές, υποστηρίζουν την ύπαρξη θετικής επίδρασης στη κίνηση των ασθενών (Arias & Cudeiro, 2010; Baker et al., 2008; Ko et al., 2016; Murgia, 2018; Rubinstein et al., 2002; Shahraki et al., 2017; Thaut et al., 1996; M. Thaut & Abiru, 2010a; Willems et al., 2006; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016).

Από το σύνολο των ερευνών που έχουν εξετάσει την επίδραση διαφορετικών συχνοτήτων ΡΑΔ στην κίνηση, κάποιες έχουν χρησιμοποιήσει συγκεκριμένες συχνότητες ΡΑΔ, οι οποίες δεν βασίζονται στη φυσική ιδιοσυχνότητα κίνησης του δοκιμαζόμενου (del Olmo

& Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012). Αντίθετα, άλλες έχουν χρησιμοποιήσει ΡΑΔ με συχνότητα ίση με -10%, 100% και +10% της φυσικής ιδιοσυχνότητας (100%) κάθε εξεταζόμενου ξεχωριστά για την εξεταζόμενη κίνηση (Arias & Cudeiro, 2010; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015). Συνολικά φάνηκε ότι οι πιο γρήγορες συχνότητες, επιδρούσαν σε αρκετά χώρο-χρονικά χαρακτηριστικά της κίνησης, όπως το μήκος διασκελισμού, ο ρυθμός βάδισης και η ταχύτητα. Επίσης, φάνηκε ότι η ΡΑΔ αύξανε την μεταβλητότητα των χώρο – χρονικών παραμέτρων της κίνησης παρά το γεγονός ότι παρατηρούνταν βελτίωση στις μεμονωμένες παραμέτρους της κίνησης (Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Yu et al., 2015).

Οι περισσότερες υπάρχουσες μελέτες που αφορούν την επίδραση της ρυθμικής ακουστικής διέγερσης στα χώρο – χρονικά χαρακτηριστικά της κίνησης, έχουν επικεντρωθεί κυρίως στη μελέτη της επίδρασης της ΡΑΔ, στην κίνηση ασθενών με νευρολογικές παθήσεις, όπως η νόσος Πάρκινσον και το εγκεφαλικό επεισόδιο και οι δοκιμασίες που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι κυρίως η βάδιση και η κρούση δακτύλων (Arias & Cudeiro, 2010; Baker et al., 2008; Freeman et al., 1993; Ko et al., 2016; Murgia, 2018; Repp, 2005; Repp & Su, 2013; Rose et al., 2019; Rubinstein et al., 2002; Shahraki et al., 2017; M. Thaut et al., 1996; Willems et al., 2006; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016). Επίσης, όσον αφορά τα άτομα με περιορισμένη όραση, η πλειονότητα των υπάρχουσών μελετών εστιάζει στο ρόλο των ακουστικών ερεθισμάτων στον

προσανατολισμό και στην μετακίνηση των ατόμων (Amadeo et al., 2020; Balan et al., 2015; Gori et al., 2014, 2018; Lessard et al., 1998; Papadopoulos et al., 2012; Vercillo et al., 2016; Voss et al., 2004, 2015) και όχι τόσο στην επίδραση τους ως προς την κίνηση τους, αυτή καθαυτή (Gandhi et al., 2013).

Δεδομένου του ότι τα άτομα με περιορισμό όρασης χρησιμοποιούν την αίσθηση της ακοής και επομένως τα ακουστικά ερεθίσματα, ως βασική

πηγή και μέσο αλληλοεπίδρασης με το περιβάλλον, καθώς και έχοντας ένα μεγάλο σύνολο βιβλιογραφίας που έχει διερευνήσει τους τρόπους με τους οποίους τα ακουστικά ερεθίσματα αποτελούν ενδείξεις προσανατολισμού, μετακίνησης και εξαγωγής συμπερασμάτων σχετικά με τα χρονικά χαρακτηριστικά τους, η διερεύνηση της επίδρασης τέτοιου είδους ερεθισμάτων στα χωρο-χρονικά χαρακτηριστικά της κίνησης ατόμων με περιορισμένη όραση καθίσταται ιδιαίτερος ενδιαφέρουσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

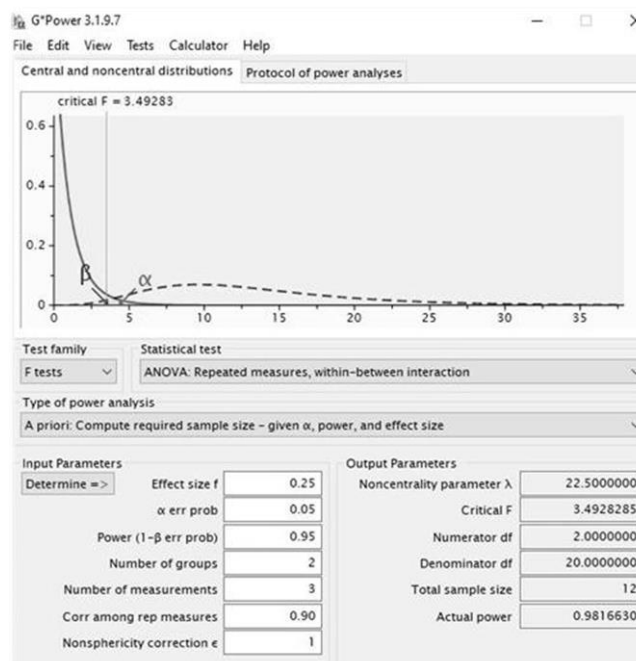
Μεθοδολογία

3.1. Δείγμα της έρευνας

Το δείγμα της έρευνας αποτέλεσαν 15 άτομα, άνδρες και γυναίκες (21 έως 51 ετών) με μη τυπική οπτική οξύτητα και 15 άτομα, αντίστοιχης ηλικίας με τυπική οπτική οξύτητα. Κριτήρια συμμετοχής των συμμετεχόντων ήταν, η ηλικία ενώ κριτήρια αποκλεισμού αποτέλεσαν, η ύπαρξη μυοσκελετικών τραυματισμών, νευρολογικών διαταραχών και τυχόν διαταραχές του αιθουσαίου συστήματος, τα οποία αξιολογήθηκαν με λήψη του ιατρικού ιστορικού, καθώς και η μειωμένη ακοή, η οποία εξετάστηκε με κλινική εξέταση, χρησιμοποιώντας την εφαρμογή *Hearing Test* (<https://www.e-audiologia.pl/HearingTest/>). Όλοι οι συμμετέχοντες υπέγραψαν το έντυπο συναίνεσης στην πειραματική διαδικασία. Η έρευνα εγκρίθηκε από την Επιτροπή Ερευνητικής

Δεοντολογίας-Βιοηθικής της Σ.Ε.Φ.Α.Α. του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών (Παράρτημα Α, Αριθμός Πρωτοκόλλου Έγκρισης: 1605/16-01-2024).

Για τον ορισμό του δείγματος έγινε ανάλυση στατιστικής ισχύος μέσω της εφαρμογής G*Power 3.1.9.7. (Εικόνα 3.1). Ο συντελεστής συσχέτισης μεταξύ επαναληπτικών προσπαθειών ορίστηκε στο 0.90 καθώς οι πιλοτικές μετρήσεις σε δείγμα 5 ατόμων έδειξαν συντελεστές συσχέτισης άνω του 0.95 σε όλες τις συνθήκες ρυθμικής ταχύτητας και ακουστικού ερεθίσματος. Η ανάλυση στατιστικής ισχύος έδειξε να επαρκεί αριθμός 10 ατόμων, εντούτοις, καθώς αυτή έγινε σε άτομα χωρίς οπτικό περιορισμό, προτάθηκε μεγαλύτερος αριθμός δείγματος ώστε να προβλεφθεί τυχόν μικρότερη συσχέτιση μεταξύ επαναληπτικών προσπαθειών στα άτομα με μη τυπική οπτική οξύτητα.



Εικόνα 3.1. Ανάλυση στατιστικής ισχύος μέσω της εφαρμογής G*Power 3.1.9.7.

3.2. Όργανα μέτρησης

3.2.1. Συλλογή χρονικών δεδομένων – Αισθητήρες κρούσης

Για την συλλογή των κινηματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν οι φορητοί αισθητήρες κρούσεις, BN-STRIKE-XDCR (Biopac Systems, Inc., BN-STRIKE-XDCR impact sensors. Goleta, CA, USA) (Εικόνες 3.2 και 3.3). Οι αισθητήρες καταγράφουν τη δραστηριότητα της κρούσης στη φτέρνα και στα δάχτυλα των ποδιών. Περιλαμβάνουν έναν αισθητήρα φτέρνας/δαχτύλων (RX111), με καλώδιο προσαρμογής για τη διασύνδεση με το πομπό BioNomadix® Strike, ο οποίος δένεται στην στο κάτω μέρος του ποδιού του συμμετέχοντα, για ασύρματη μετάδοση των δεδομένων που συλλέγονται. Οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούν δύο

αντιστάσεις ευαίσθητες στη δύναμη. Η μία αντίσταση προσαρτάται στη σόλα του παπουτσιού στο σημείο της φτέρνας και η δεύτερη αντίσταση στο σημείο των δαχτύλων. Οι δύο αυτές αντιστάσεις υποδεικνύουν την ακριβή πίεση που ασκείται στα δύο αυτά σημεία, καθώς ο συμμετέχοντας εκτελεί τις επιθυμητές κινήσεις (Biopac Systems, Inc., BN-STRIKE-XDCR impact sensors, Goleta, CA, USA).

Για την συλλογή των χρονικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα μόνο από τον αισθητήρα κρούσης της πτέρνας, του κυρίαρχου ποδιού του κάθε δοκιμαζόμενου. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με τη χρήση του λογισμικού AcqKnowledge version 3.7.3 (Biopac Systems, Inc., Goleta, CA, USA) με συχνότητα δειγματοληψίας 1000 Hz.



Εικόνα 3.2. Αριστερά: Αισθητήρες κρούσης: αισθητήρες φτέρνας/δαχτύλων (RX111) (Biopac Systems, 2023), Δεξιά: Αισθητήρες κρούσης και το καλώδιο προσαρμογής για τη διασύνδεση με το πομπό BioNomadix Strike (Biopac Systems, 2023).

3.2.2. Συλλογή κινηματικών δεδομένων – Επιταχυνσιόμετρο.

Για την συλλογή των κινηματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο ασύρματος πομπός τριαξονικού επιταχυνσιόμετρου BioNomadix® Accelerometer-BN-ACCL3 (Biopac Systems, Inc., BioNomadix® Accelerometer-BN-ACCL3. Goleta, CA, USA). (Εικόνες 3.2 και 3.3). Πρόκειται για μία συσκευή μέτρησης της επιτάχυνσης ευρέος φάσματος, που δίνει τη δυνατότητα μέτρησης της επιτάχυνσης της βαρύτητας (στατική) για την ανίχνευση της κλίσης και επιπλέον μπορεί να μετρήσει την πολύ γρήγορα μεταβαλλόμενη δυναμική επιτάχυνση που προκύπτει από την

γρήγορη κίνηση ή την πρόσκρουση. Το σύστημα εξάγει τις τιμές επιτάχυνσης στους άξονες x, y και z σε τρία αντίστοιχα κανάλια (Biopac Systems, Inc., BioNomadix® Accelerometer-BN-ACCL3. Goleta, CA, USA).

Για την συλλογή των κινηματικών δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ένα επιταχυνσιόμετρο, το οποίο τοποθετήθηκε στη κνήμη του κυρίαρχου κάτω άκρου του κάθε δοκιμαζόμενου. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με τη χρήση του λογισμικού AcqKnowledge 3.7.3 και με συχνότητα δειγματοληψίας 1000 Hz.

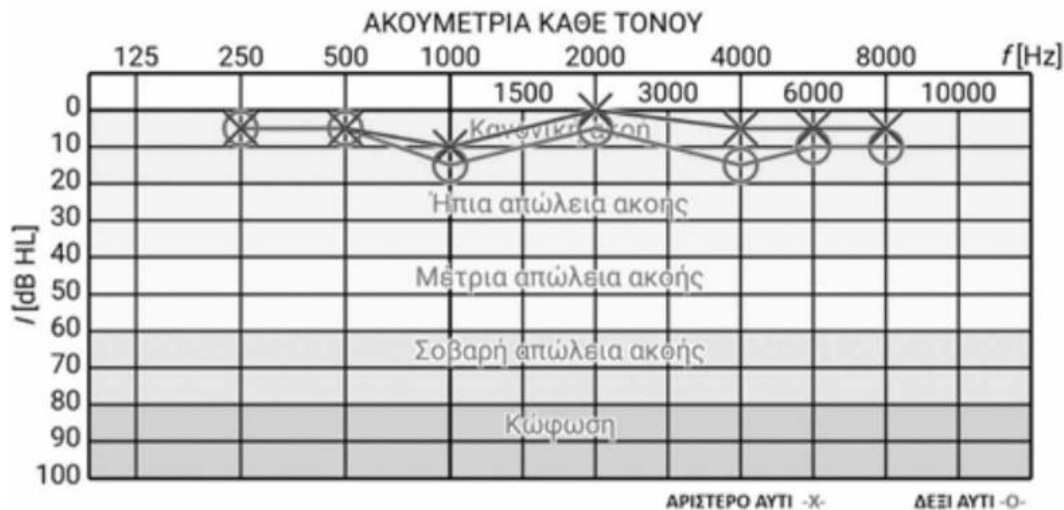


Εικόνα 3.3. Τοποθέτηση αισθητήρων κρούσεων και επιταχυνσιόμετρου.

3.2.3. Αξιολόγηση ακοής

Για την αξιολόγηση της ακοής χρησιμοποιήθηκε η εφαρμογή Hearing Test (<https://www.e-audiologia.pl/HearingTest/>), η οποία παρέχει μια δοκιμασία ευαισθησίας ακοής που εκτελείται σε συσκευές Android. Η δοκιμασία λειτουργεί όπως ένα ακουόγραμμα και επιτρέπει τη διαπίστωση των ήχων που γίνονται αντιληπτοί από τον εξεταζόμενο για

κάθε συχνότητα, για εύρος συχνοτήτων 250 έως 8000 Hz. Ως τελικό αποτέλεσμα, η δοκιμασία δίνει το φάσμα συχνοτήτων που γίνεται αντιληπτό από κάθε αντί καθώς και το επίπεδο της έντασης στο οποίο γίνεται αντιληπτό (Εικόνα 3.4). Το ακουόγραμμα αποτελεί οπτική αναπαράσταση της ακοής και απεικονίζει το κατώτατο όριο ακοής σε εύρος συχνοτήτων 250 έως 8000 Hz.



Εικόνα 3.4. Ενδεικτικό γράφημα των αποτελεσμάτων της δοκιμασίας ευαισθησίας της ακοής, όπως προκύπτουν από την εφαρμογή Hearing Test. Τα αποτελέσματα απεικονίζουν τη φυσιολογική ακοή μίας δοκιμαζόμενης που συμμετείχε στην πιλοτική μελέτη της παρούσας εργασίας. Στον οριζόντιο άξονα φαίνονται οι συχνότητες που εξετάζονται από τη δοκιμασία σε εύρος από 250 έως 8000 Hz, ενώ οι αριθμοί στον κατακόρυφο άξονα αναφέρονται στην ένταση του ήχου (dB). Σε κάθε εξεταζόμενη συχνότητα σημειώνεται η ένταση για το αριστερό (X) και το δεξί αυτί (O). Για τη συγκεκριμένη δοκιμαζόμενη φαίνεται οι συχνότητες από τα 1000 Hz και πάνω διαφέρουν ανάμεσα σε αριστερό και δεξί αυτί. Παρόλο αυτά φαίνεται να εμφανίζει φυσιολογική ακοή καθώς βρίσκεται μέσα στα φυσιολογικά όρια (0-20 dB), σύμφωνα με την εφαρμογή Hearing Test

3.3. Ακουστικά ερεθίσματα και κινητικές δοκιμασίες

3.3.1. Ακουστικά ερεθίσματα

Το ακουστικό ερέθισμα που επιλέχθηκε ήταν ήχοι μετρονόμου σε όλες τις συνθήκες, ενώ σε κάθε συνθήκη ταχύτητας κίνησης άλλαζε η ρυθμική ταχύτητα του μετρονόμου. Η επιλογή των ήχων μετρονόμου έγινε καθώς ο μετρονόμος αποτελεί ένα ακουστικό ερέθισμα του οποίου ο κτύπος γίνεται πολύ εύκολα κατανοητός από τα άτομα, ανεξαιρέτως αν είναι εξοικειωμένα με μουσικό ακουστικό ερέθισμα. Επίσης με τη χρήση ήχων μετρονόμου, αποφεύγεται η συναισθηματική επίδραση που ενδεχομένως να είχε μια μουσική σύνθεση στους συμμετέχοντες (Thaut, 2005).

Η επιλογή των τριών διαφορετικών ρυθμικών ταχυτήτων έγινε με

κριτήριο την φυσική ιδιοσυχνότητα κίνησης, την πιο αργή ιδιοσυχνότητα κίνησης και την πιο γρήγορη ιδιοσυχνότητα κίνησης του κάθε συμμετέχοντα.

3.3.2. Κινητική δοκιμασία

Οι συμμετέχοντες αξιολογήθηκαν στη δοκιμασία της επιτόπιας κρούσης ποδιού σε δύο (2) συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (χωρίς ακουστικό ερέθισμα, με μετρονομικό ακουστικό ερέθισμα) και τρεις (3) συνθήκες προτιμώμενης ρυθμικής ταχύτητας (φυσική, όσο πιο αργή, όσο πιο γρήγορη). Πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) προσπάθειες σε κάθε συνθήκη με διάρκεια καταγραφής σαράντα (40) δευτερόλεπτα για την κάθε μια. Μεταξύ των προσπαθειών υπήρξε διάλειμμα 3 λεπτών. Οι συμμετέχοντες άκουγαν το ακουστικό ερέθισμα μέσω φορητών ακουστικών.

3.4. Περιγραφή πειραματικής διαδικασίας

Οι συμμετέχοντες προσήλθαν στο χώρο του Εργαστηρίου της Αθλητικής Βιομηχανικής του ΣΕΦΑΑ Αθηνών, μισή ώρα πριν την ώρα έναρξης, για να εξοικειωθούν στον χώρο και στις πειραματικές διαδικασίες. Με την άφιξη τους στο εργαστήριο, ενημερώθηκαν πλήρως για το σκοπό της μελέτης και τη διαδικασία των μετρήσεων και υπέγραψαν το έντυπο συγκατάθεσης για τη συμμετοχή τους. Ακολούθησε λήψη του ιατρικού ιστορικού, κυρίως μυοσκελετικών ή νευρολογικών διαταραχών και προβλημάτων ακοής και όρασης, τα οποία αποτέλεσαν και κριτήρια αποκλεισμού. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η αξιολόγηση ακοής μέσω της εφαρμογής *Hearing Test*, (<https://www.e-audiologia.pl/HearingTest/>) (Εικόνα 3.5), όπως περιεγράφηκε προηγουμένως. Τέλος, έγινε η τοποθέτηση των αισθητήρων. Ο αισθητήρας κρούσης σταθεροποιήθηκε στην πτέρνα του κυρίαρχου ποδιού του κάθε συμμετέχοντα, ενώ το επιταχυνσιόμετρο τοποθετήθηκε στην κνήμη, στη θέση του ΚΜ του μέλους και σταθεροποιήθηκε με ιμάντα αυτοπρόσφυσης. Σε συγχρονισμό με τον αισθητήρα επιταχυνσιόμετρου έγινε συλλογή και των δεδομένων από τον αισθητήρα κρούσης. Η χρονική διάρκεια και η συχνότητα δειγματοληψίας ήταν 40 δευτερόλεπτα και 1000 Hz αντίστοιχα, και για τον αισθητήρα κρούσης και για το επιταχυνσιόμετρο.

Σε συγχρονισμό με τη συλλογή δεδομένων επιτάχυνσης και κρούσης, ο ήχος του μετρονόμου εισήχθη στο λογισμικό συλλογής (*AcqKnowledge*

version 3.7.3, Biopac Systems, Inc., Goleta, CA, USA) μέσω ενός καλωδίου διασύνδεσης που προστέθηκε στον φορητό υπολογιστή που αναπαρήγαγε τον ήχο.

3.5. Επεξεργασία και εξαγωγή μεταβλητών

Η επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων του αισθητήρα κρούσης και του αισθητήρα επιταχυνσιόμετρου έγινε μέσω της γλώσσας προγραμματισμού R (*Posit Software, PBC, 2023. R: A language and environment for statistical computing, version 2023.09.1, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*), και Matlab (*MathWorks, Inc., 2021. MATLAB, version R2021b. MathWorks, Inc., Natick, MA, USA*). Αρχικά αφαιρέθηκαν τα πρώτα και τα τελευταία 5 δευτερόλεπτα του σήματος, έτσι ώστε να αποφευχθεί η εναρκτήρια μετάβαση καθώς και αυτή της λήξης της δοκιμασίας. Επίσης, στα δεδομένα από το επιταχυνσιόμετρο, από τους αισθητήρες κρούσης καθώς και στο σήμα του μετρονόμου εφαρμόστηκε φιλτράρισμα κινητού μέσου, ώστε να ομαλοποιηθεί το σήμα.

Στη συνέχεια, για το σύνολο των δεδομένων, επιλέχθηκαν δέκα ολοκληρωμένοι κύκλοι κίνησης και προσδιορίστηκαν οι μέγιστες τιμές της κρούσης και της επιτάχυνσης. Επίσης, υπολογίστηκε ο ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνσης (*Jerk*, ομαλότητα ροής της κίνησης), η οποία ορίζεται ως:

$$Jerk = \Delta a / \Delta t$$

Συνοψίζοντας, για κάθε κύκλο κίνησης, και σε κάθε μία συνθήκη, υπολογίστηκαν οι εξής παράμετροι:

A) Διάρκεια του κύκλου κίνησης (s),

B) Μέγιστη γραμμική επιτάχυνση (m/s^2),

Γ) Ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνσης (m/s^3) (μέτρο ροής κίνησης),

Δ) Χρονική διαφορά μέγιστης επιτάχυνσης-κρούσης (s) (παράμετρος χρονισμού)

καθώς και οι δύο παράμετροι συγχρονισμού,

Ε) Χρονική διαφορά μέγιστης επιτάχυνσης-μετρονόμου (s),

ΣΤ) Χρονική διαφορά κρούσης-μετρονόμου (s).

Για όλες τις παραμέτρους, η τιμή που εισήχθη στη στατιστική ανάλυση ήταν:

A) η μέση τιμή των 10 επιλεγμένων κύκλων, σε ότι αφορά το μέγεθος αυτών και

B) ο ποσοστιαίος συντελεστής ατομικής μεταβλητότητας (%CV_{indiv}), ο οποίος υπολογίστηκε από το λόγο της τυπικής απόκλισης του μεγέθους των 10 κύκλων κίνησης διά τη μέση τιμή αυτών, και στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε επί 100 ως εξής:

$$\%CV_{ind} = \frac{SD_{10cycles}}{Mean_{10cycles}} \times 100$$

3.6. Στατιστική ανάλυση

Για τη στατιστική ανάλυση εφαρμόστηκαν:

A) Μία μεικτή τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης για τον έλεγχο

του ρόλου της οπτικής οξύτητας στην αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας, με δύο επαναληπτικούς παράγοντες (το ακουστικό ερέθισμα με δύο επίπεδα: με και χωρίς ακουστικό ερέθισμα και τη ρυθμική ταχύτητα με τρία επίπεδα: προτιμώμενη φυσική, αργή φυσική, γρήγορη φυσική) καθώς και ένα ανεξάρτητο παράγοντα, αυτόν της οπτικής οξύτητας με δύο επίπεδα, δηλαδή των ατόμων με τυπική οπτική οξύτητα και των ατόμων με μη τυπική οπτική οξύτητα.

B) Τρεις διπαραγοντικές αναλύσεις διακύμανσης, για τον έλεγχο της αλληλεπίδρασης μεταξύ οπτικής οξύτητας και ακουστικού ερεθίσματος, μεταξύ οπτικής οξύτητας και ρυθμικής ταχύτητας και μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας. Στις περιπτώσεις όπου υπήρχε σημαντική αλληλεπίδραση, ελέγχθηκαν οι κατά ζεύγη διαφορές (διόρθωση Bonferroni).

Επίσης, ελέγχθηκε η σημαντικότητα της κύριας επίδρασης, χωρίς διάκριση ως προς τα επιμέρους επίπεδα έτερου παράγοντα.

Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό πρόγραμμα SPSS version 29.0 (IBM statistics). Ως επίπεδο σημαντικότητας σε όλες τις στατιστικές αναλύσεις ορίστηκε το 5% ($p < .05$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Αποτελέσματα

4.1. Χαρακτηριστικά συμμετεχόντων

Στον Πίνακα 4.1. απεικονίζονται οι περιγραφικοί δείκτες των συμμετεχόντων.

Πίνακας 4.1. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και ποσοστιαίος συντελεστής ομαδικής μεταβλητότητας (CV%) των χαρακτηριστικών των συμμετεχόντων.

	Τυπική Οπτική Οξύτητα	ΜΗ Τυπική Οπτική Οξύτητα
Ηλικία (έτη)	35.3 $\pm$ 10.5 (29.9%)	35.8 $\pm$ 9.2 (25.9%)
Σωματική Μάζα (Kg)	79.7 $\pm$ 12.1 (15.2%)	83 $\pm$ 14.3 (17.3%)
Σωματικό Ανάστημα (m)	1.74 $\pm$ 0.1 (5.5%)	1.77 $\pm$ 0.1 (5.5%)

4.2. Αλληλεπίδρασεις

4.2.1. Σημαντικότητα του ρόλου της ΟΟ στην αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και ΡΤ

Σημαντική τριπλή αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ, ΡΤ και ΟΟ παρατηρήθηκε μόνο για τη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-κρούσης, $F(2,264) = 3.515$, $\eta^2 = 0.112$, $p = 0.036$ (Σχήμα 4.1).

Κατά τον έλεγχο των κατά ζεύγη διαφορών βρέθηκε ότι στην ομάδα με τυπική οπτική οξύτητα, χωρίς την παρουσία ΑΕ, την ατομική μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-κρούσης, ξεκινώντας από τη φυσική ταχύτητα, μειώθηκε στην αργή και στην γρήγορη ταχύτητα, (CVind-φυσική = 9.4%, CVind-αργή = 9.2%, CVind-γρήγορη = 6.7%). Ενώ, παρουσία ΑΕ, ξεκινώντας από τη φυσική ταχύτητα, αυξήθηκε στην αργή και στη γρήγορη ταχύτητα, (CVind-Φυσική = 5.1%,

CVind-Αργή = 5.6%, CVind-Γρήγορη = 5.3%).

Στην ομάδα με την μη τυπική οπτική οξύτητα, χωρίς την παρουσία ΑΕ, ξεκινώντας από τη φυσική ταχύτητα, η μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς, μειώθηκε στην αργή και αυξήθηκε στη γρήγορη, (CVind-φυσική = 11.4%, CVind-αργή = 6.4%, CVind-γρήγορη = 13.4%). Με την παρουσία ΑΕ, ξεκινώντας από τη φυσική ταχύτητα, μειώθηκε στην αργή και στη γρήγορη, (CVind-γυσική = 12.9%, CVind-αργή = 9.5%, CVind-γρήγορη = 10.5%).

4.2.2. Αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΑΕ

Για το μέγεθος των εξεταζόμενων παραμέτρων, σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) και ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ) και παρατηρήθηκε μόνο στο ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης ($F(1,264) = 4.696$, $\eta^2 = 0.144$, $p = 0.039$) (Σχήμα 4.2).

Για την ατομική μεταβλητότητα, σημαντική αλληλεπίδραση ΑΕ * ΟΟ βρέθηκε στη διάρκεια κύκλου κίνησης ($F(1,264) = 13.599$, $\eta^2 = .327$, $p = .001$) (Σχήμα 4.2) και στη χρονική διαφορά επιτάχυνσης-κρούσης ($F(1,264) = 7.081$, $\eta^2 = .202$, $p = .013$) (Σχήμα 4.2).

Κατά τον έλεγχο των κατά ζεύγη διαφορών βρέθηκε ότι στην ομάδα τυπικής ΟΟ η παρουσία ΑΕ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του μεγέθους του ρυθμού μεταβολής της επιτάχυνσης (Χωρίς ΑΕ = 429.08 m/s³, Με ΑΕ = 496.56 m/s³), ενώ στη ομάδα με μη τυπικής ΟΟ, η παρουσία ΑΕ, είχε ως αποτέλεσμα την μείωση του ρυθμού μεταβολής της

επιτάχυνσης (Χωρίς AE = 559.76 m/s³, Με AE = 504.44 m/s³).

Σε ότι αφορά τις παραμέτρους ατομικής μεταβλητότητας, η παρουσία AE μείωσε την ατομική μεταβλητότητα της διάρκειας του κύκλου κίνησης και στην ομάδα τυπικής ΟΟ (CVind-Χωρίς AE = 4.3%, CVind-Με AE = 0.8%) και στην ομάδα μη τυπικής οπτικής οξύτητας (CVind-Χωρίς AE = 7.2%, CVind-Με AE = 0.9%).

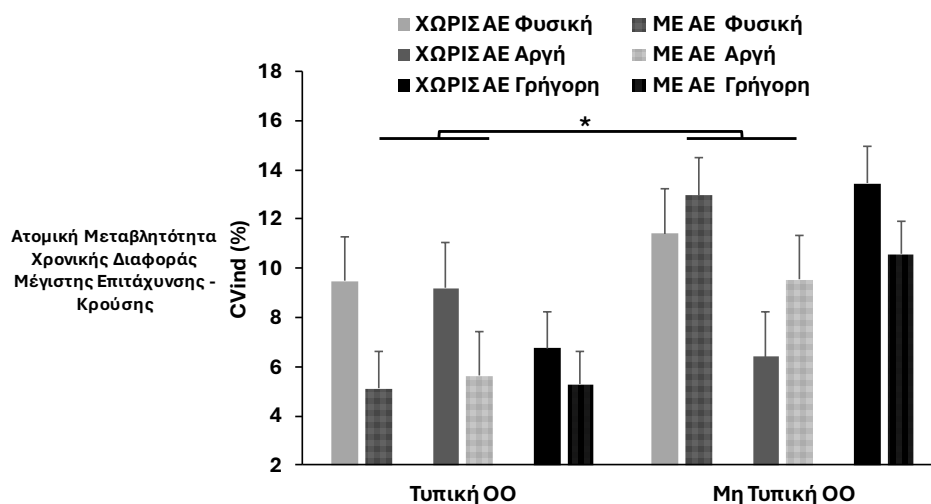
Η παρουσία AE μείωσε την ατομική μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-κρούσης στην ομάδα τυπικής ΟΟ (CVind-Χωρίς AE = 8.4%, CVind-Με AE = 5.3%), ενώ την αύξησε στην ομάδα μη τυπικής ΟΟ (CVind-Χωρίς AE = 10.4%, CVind-Μη AE = 11.0%).

4.2.3. Αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΡΤ

Για το μέγεθος των εξεταζόμενων παραμέτρων, σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) παρατηρήθηκε για τη διάρκεια του κύκλου κίνησης ($F(2,264) = 3.794$, $\eta^2 = .119$, $p = .028$) (Σχήμα 4.2), τη χρονική διαφορά επιτάχυνσης-μετρονόμου, ($F(2,264) = 4.499$, $\eta^2 = .138$, $p = .015$) (Σχήμα 4.2) και τη χρονική διαφορά κρούσης-μετρονόμου, ($F(2,264) = 7.962$, $\eta^2 = .221$, $p = .001$) (2 Σχήμα 4.2).

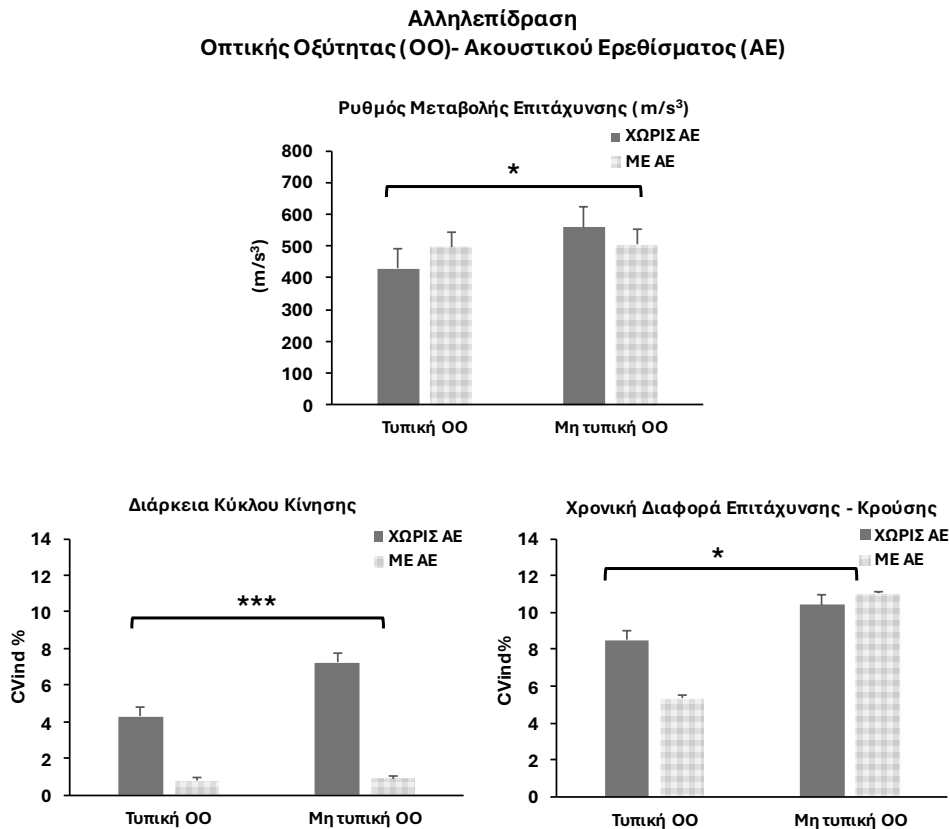
Για την ατομική μεταβλητότητα, σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΡΤ βρέθηκε μόνο για τη χρονική διαφορά κρούσης-μετρονόμου, ($F(2,264) = 4.051$, $\eta^2 = .126$, $p = .23$) (2 Σχήμα 4.2).

Αλληλεπίδραση
Οπτικής Οξύτητας (ΟΟ) – Ακουστικού Ερεθίσματος (ΑΕ) -Ρυθμικής Ταχύτητας (ΡΤ)



Σχήμα

4.1. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind) (%) της χρονικής διαφοράς μέγιστης επιτάχυνσης-κρούσης όπου βρέθηκε σημαντική ($*p < 0.05$) τριπλή αλληλεπίδραση μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) – ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ: Χωρίς-Με, συμπαγές-διάσπαστο γέμισμα ράβδου, αντίστοιχα) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ: φυσική, αργή, γρήγορη, ανοιχτό γκρι, σκούρο γκρι, μαύρο χρώμα ράβδου, αντίστοιχα)..



Σχήμα 4.2. Παράμετροι σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) και ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ). Πάνω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του μεγέθους του ρυθμού μεταβολής επιτάχυνσης. Κάτω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind%) για τη διάρκεια κύκλου κίνησης και τη χρονική διαφορά επιτάχυνσης-κρούσης. * σημαντική διαφορά $p < 0.05$

Επίσης με PT αναφοράς τη φυσική προτιμώμενη, το μέγεθος της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-κρούσης, στην ομάδα τυπικής ΟΟ παρέμεινε χωρίς σημαντική διαφορά στην αργή προτιμώμενη PT και αυξήθηκε στη γρήγορη προτιμώμενη PT (φυσική = 0.19s, αργή = 0.19s, γρήγορη = 0.20s), ενώ στην ομάδα μη τυπικής ΟΟ αυξήθηκε και μειώθηκε σημαντικά, αντίστοιχα, στην όσο πιο αργή και στην όσο πιο γρήγορη προτιμώμενη PT (φυσική = 0.21s, αργή = 0.24s, γρήγορη = 0.20s).

Η ατομική μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς κρούσης-

μετρονόμου, (ομοίως με PT αναφοράς τη φυσική προτιμώμενη), στην ομάδα τυπικής ΟΟ αυξήθηκε και στην όσο πιο αργή και στην όσο πιο γρήγορη PT, (CVind-φυσική = 20.6%, CVind-αργή = 25.2%, CVind-γρήγορη = 25.2%), ενώ στην ομάδα μη τυπικής ΟΟ μειώθηκε και στην όσο πιο αργή και στην όσο πιο γρήγορη προτιμώμενη PT, (CVind-Φυσική = 47.4%, CVind-Αργή = 29.7%, CVind-Γρήγορη = 37.9%).

4.2.4. Αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και PT

Για το μέγεθος των εξεταζόμενων παραμέτρων, σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και ΡΤ παρατηρήθηκε για τη διάρκεια του κύκλου κίνησης ($F(2,264) = 11.331$, $\eta^2 = 0.288$, $p < 0.001$ (Σχήμα 4.3) και τη μέγιστης γραμμική επιτάχυνση ($F(2,264) = 5.806$, $\eta^2 = .172$, $p = .005$) (Σχήμα 4.3).

Για την ατομική μεταβλητότητα, δε υπήρξε σημαντική αλληλεπίδραση ($p > 0.05$) μεταξύ ΑΕ και ΡΤ για καμία από τις εξεταζόμενες παραμέτρους.

Κατά τον έλεγχο των κατά ζεύγη διαφορών βρέθηκε ότι, με ΡΤ ταχύτητα αναφοράς την προτιμώμενη φυσική, η μέγιστη γραμμική επιτάχυνση, και στις δύο συνθήκες ΑΕ αυξήθηκε τόσο στην όσο πιο αργή και στην όσο πιο γρήγορη ΡΤ αλλά με την παρουσία ΑΕ η αύξηση ήταν μικρότερη (ΧΩΡΙΣ ΑΕ: φυσική = 82.698 m/s^2 , αργή = 87.925 m/s^2 , γρήγορη = 100.125 m/s^2) (ΜΕ ΑΕ: φυσική = 92.055 m/s^2 , αργή = 95.140 m/s^2 , γρήγορη = 94.990 m/s^2).

Η διάρκεια του κύκλου κίνησης (με ΡΤ ταχύτητα αναφοράς την προτιμώμενη φυσική), και στις δύο συνθήκες ΑΕ αυξήθηκε στην όσο πιο αργή και μειώθηκε στην όσο πιο γρήγορη ΡΤ, (ΧΩΡΙΣ ΑΕ: φυσική = 0.683s , αργή = 1.527s , γρήγορη = 0.335s , ΜΕ ΑΕ: φυσική = 0.654s , αργή = 1.383s , γρήγορη = 0.354s).

4.3. Κύριες επιδράσεις

Στους Πίνακες ΠΑΡ Δ-1 έως ΠΑΡ Δ-4 του παραρτήματος Δ παρουσιάζονται οι περιγραφικοί στατιστικοί δείκτες για το μέγεθος και την ατομική μεταβλητότητα (CVind) για τις κύριες επιδράσεις ΟΟ, ΑΕ και ΡΤ καθώς και η σημαντικότητα κάθε κύριας επίδρασης, χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα.

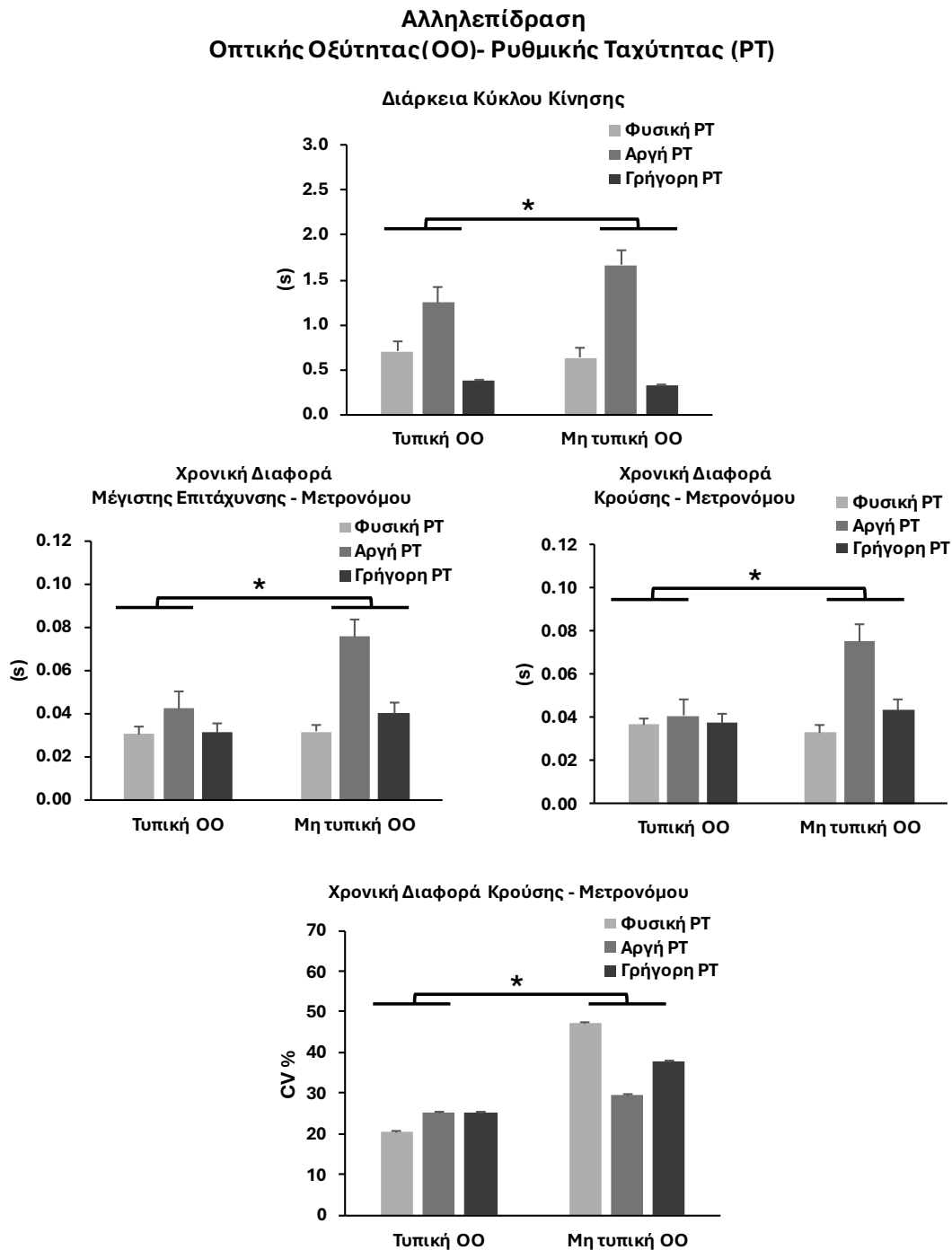
4.3.1. Κύρια επίδραση ΟΟ

Η ΟΟ εμφάνισε σημαντική κύρια επίδραση στα μεγέθη των χρονικών διαφορών που αποτελούν μέτρα συγχρονισμού, δηλαδή αυτή μεταξύ επιτάχυνσης-μετρονόμου ($F(1,264) = 8.238$, $\eta^2 = .227$, $p = .008$) (Τυπική ΟΟ = 0.034s , Μη τυπική ΟΟ = 0.049s) (Σχήμα 4.5) και μεταξύ κρούσης-μετρονόμου ($F(1,264) = 5.244$, $\eta^2 = 0.158$, $p = 0.03$) (Τυπική ΟΟ = 0.038s , Μη τυπική ΟΟ = 0.051s) (Σχήμα 4.5). Τα αναλυτικά αριθμητικά δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα ΠΑΡ Δ-2.

Η ΟΟ διαφοροποίησε σημαντικά και την ατομική μεταβλητότητα της διάρκειας του κύκλου κίνησης ($F(1,264) = 14.619$, $\eta^2 = .343$, $p = .001$) (Τυπική ΟΟ = 2.548% , Μη τυπική ΟΟ = 4.1%) (Σχήμα 4.5), της μέγιστης γραμμικής επιτάχυνσης ($F(1,264) = 4.262$, $\eta^2 = .132$, $p = .048$) (Τυπική ΟΟ = 7.7% , Μη τυπική ΟΟ = 10.7%), (Σχήμα 4.5), καθώς και των χρονικών διαφορών επιτάχυνσης-κρούσης ($F(1,264) = 11.966$, $\eta^2 = .299$, $p = .002$) (Τυπική ΟΟ = 6.9% , Μη τυπική ΟΟ = 10.7%) (Σχήμα 4.5), επιτάχυνσης-μετρονόμου, ($F(1,264) = 4.544$, $\eta^2 = .140$, $p = .04$) (Τυπική ΟΟ = 25.9% , Μη τυπική ΟΟ = 34.7%) (Σχήμα 4.5) και κρούσης-μετρονόμου ($F(1,264) = 12.488$, $\eta^2 = 0.308$, $p = 0.001$) (Τυπική ΟΟ = 23.7% , Μη τυπική ΟΟ = 38.3%) (Σχήμα 4.5). Τα αναλυτικά αριθμητικά δεδομένα παρατίθενται στους Πίνακες ΠΑΡ Δ-3 και ΠΑΡ Δ-4.

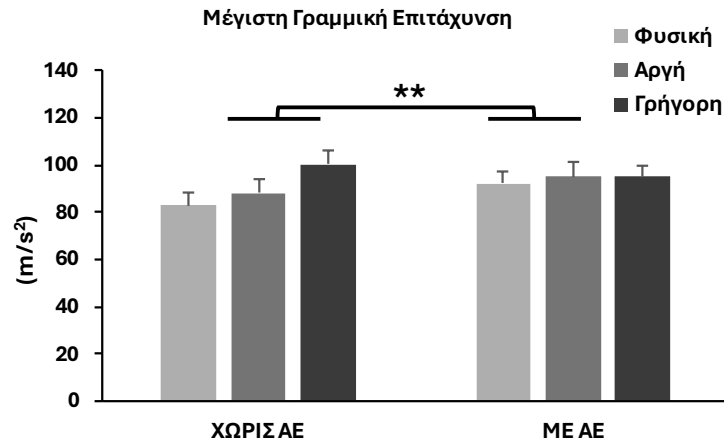
4.3.2. Κύρια επίδραση ΑΕ

Τόσο για το μέγεθος ($F(1,264) = 8.905$, $\eta^2 = .241$, $p = .006$) όσο και για την ατομική μεταβλητότητα ($F(1,264) = 164.45$, $\eta^2 = .855$, $p < .001$), το ΑΕ εμφάνισε σημαντική κύρια επίδραση μόνο στη διάρκεια του κύκλου



Σχήμα 4.3. Παράμετροι σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ οπτικής οξύτητας (ΟΟ) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ). Πάνω και Κέντρο: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση του μεγέθους της διάρκειας κύκλου κίνηση και των χρονικών διαφορών μέγιστης επιτάχυνσης-μετρονόμου και κρούσης μετρονόμου. Κάτω: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της ατομικής μεταβλητότητας (CVind%) για τη χρονική διαφορά κρούσης μετρονόμου. * σημαντική διαφορά $p < 0.05$.

Αλληλεπίδραση Ακουστικού Ερεθίσματος (ΑΕ)- Ρυθμικής Ταχύτητας (ΡΤ)



Σχήμα 4.4. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της παράμετρου σημαντικής αλληλεπίδρασης μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ) και ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ). * σημαντική διαφορά $p < 0.01$.

κίνησης (Μέγεθος: ΧΩΡΙΣ ΑΕ= 0.848s, ΜΕ ΑΕ = 0.797s, CVind: (ΧΩΡΙΣ ΑΕ= 5.7%, ΜΕ ΑΕ = 0.8%, Σχήμα 4.6). Τα αναλυτικά αριθμητικά δεδομένα παρατίθενται στον Πίνακα ΠΑΡ Δ-1.

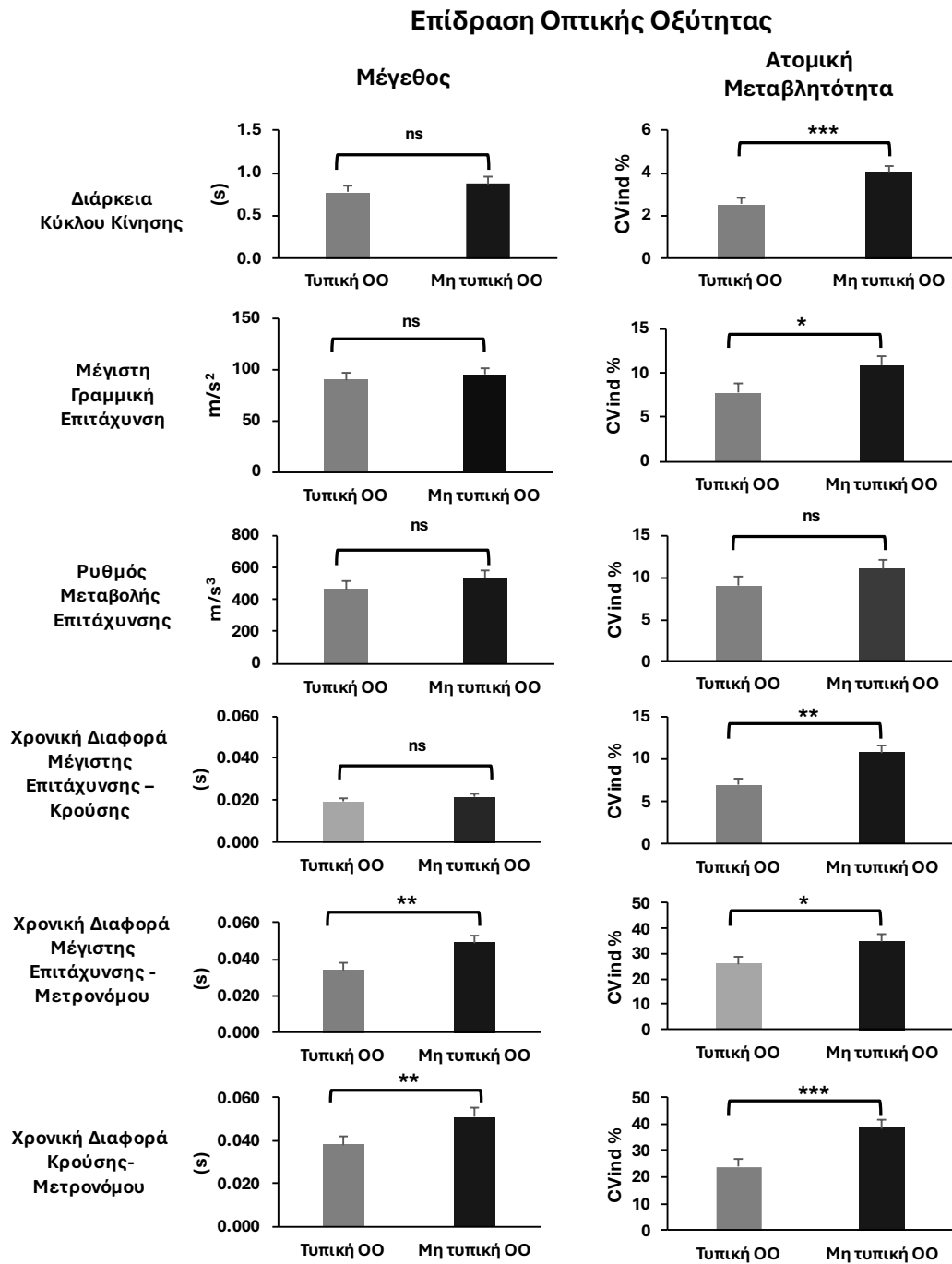
4.3.3. Κύρια επίδραση ΡΤ

Σε ότι αφορά το μέγεθος των εξεταζόμενων παραμέτρων, η ΡΤ είχε σημαντική κύρια επίδραση στη διάρκεια του κύκλου κίνησης ($F(2,264) = 67.303$, $\eta^2 = .706$, $p < .001$) (Σχήμα 4.7), στη μέγιστη γραμμική επιτάχυνση ($F(2, 264) = 5.789$, $\eta^2 = .171$, $p = .005$) (Σχήμα 4.7), στο ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης ($F(2,264) = 75.101$, $\eta^2 = .728$, $p < .001$) (Σχήμα 4.7), καθώς και στις χρονικές διαφορές που αποτελούν μέτρα συγχρονισμού, δηλαδή αυτή της επιτάχυνσης-μετρονόμου ($F(2,264) = 14.306$, $\eta^2 = .338$, $p < .001$) (Σχήμα 4.7) και της κρούσης-μετρονόμου ($F(2,264) = 12.054$, $\eta^2 = .301$, $p < .001$) (Σχήμα 4.7). Τα αναλυτικά αριθμητικά δεδομένα παρατίθενται

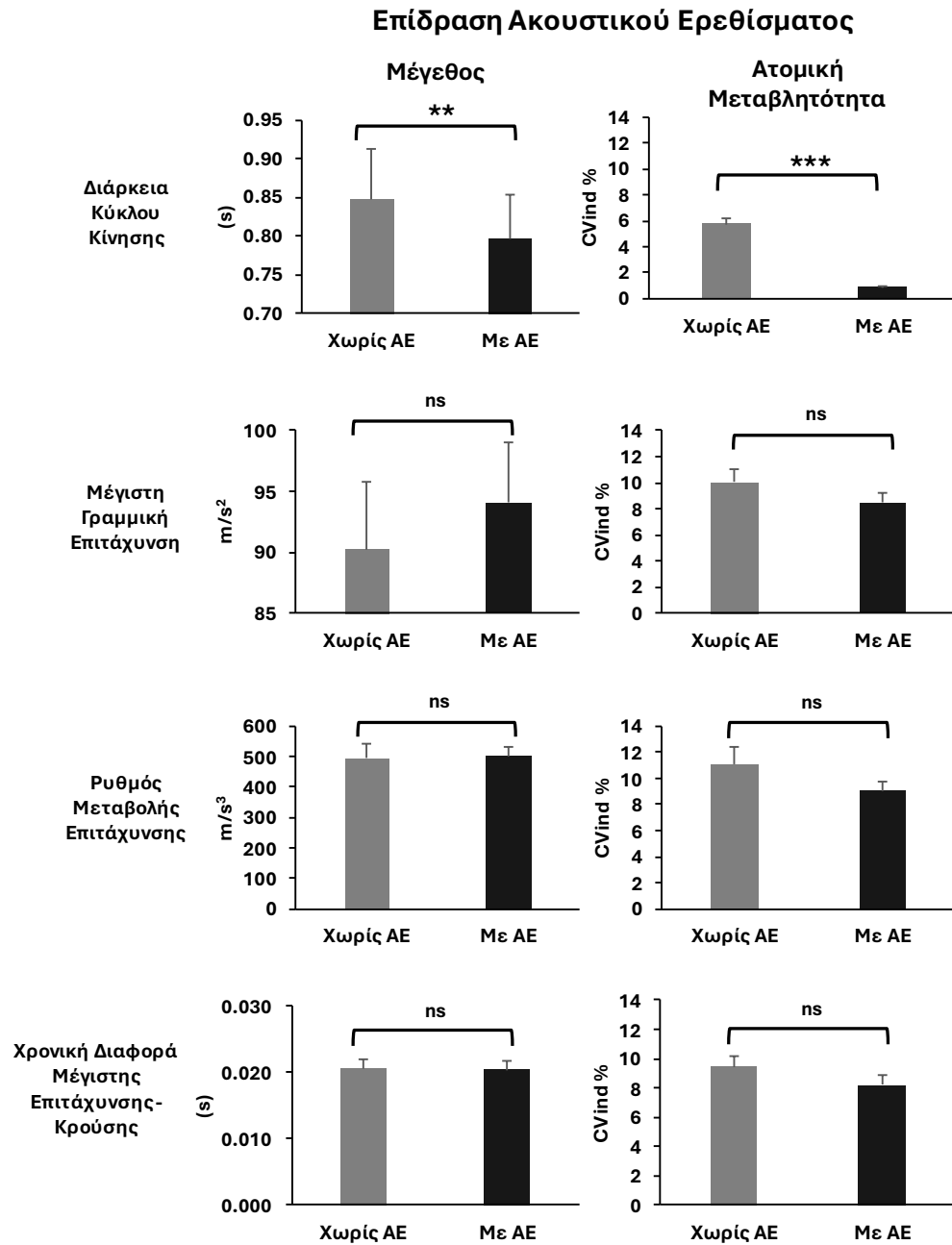
στους Πίνακες ΠΑΡ Δ-1 και ΠΑΡ Δ-2.

Σε ότι αφορά την ατομική μεταβλητότητα, η ΡΤ διαφοροποίησε σημαντικά τη διάρκεια του κύκλου κίνησης ($F(2,264) = 8.167$, $\eta^2 = .226$, $p = .001$) (Σχήμα 4.7) και τη χρονική διαφορά επιτάχυνσης-μετρονόμου ($F(2,264) = 3.597$, $\eta^2 = .114$, $p = .034$) (Σχήμα 4.7). Τα αναλυτικά αριθμητικά δεδομένα παρατίθενται στους Πίνακες ΠΑΡ Δ-3 και ΠΑΡ Δ-4.

Κατά τον έλεγχο των κατά ζεύγη διαφορών μεταξύ ΡΤ βρέθηκε ότι στην όσο πιο αργή προτιμώμενη ΡΤ (αργή = 1.455s, $p < 0.001$), η διάρκεια κύκλου κίνησης, συγκριτικά με την φυσική προτιμώμενη ΡΤ (φυσική= 0.668s) καθώς και συγκριτικά με την όσο πιο γρήγορη προτιμώμενη ΡΤ (γρήγορη = 0.344s, $p < .001$), με την τελευταία να είναι σημαντικά υψηλότερη και από τη φυσική προτιμώμενη ΡΤ ($p < 0.001$).

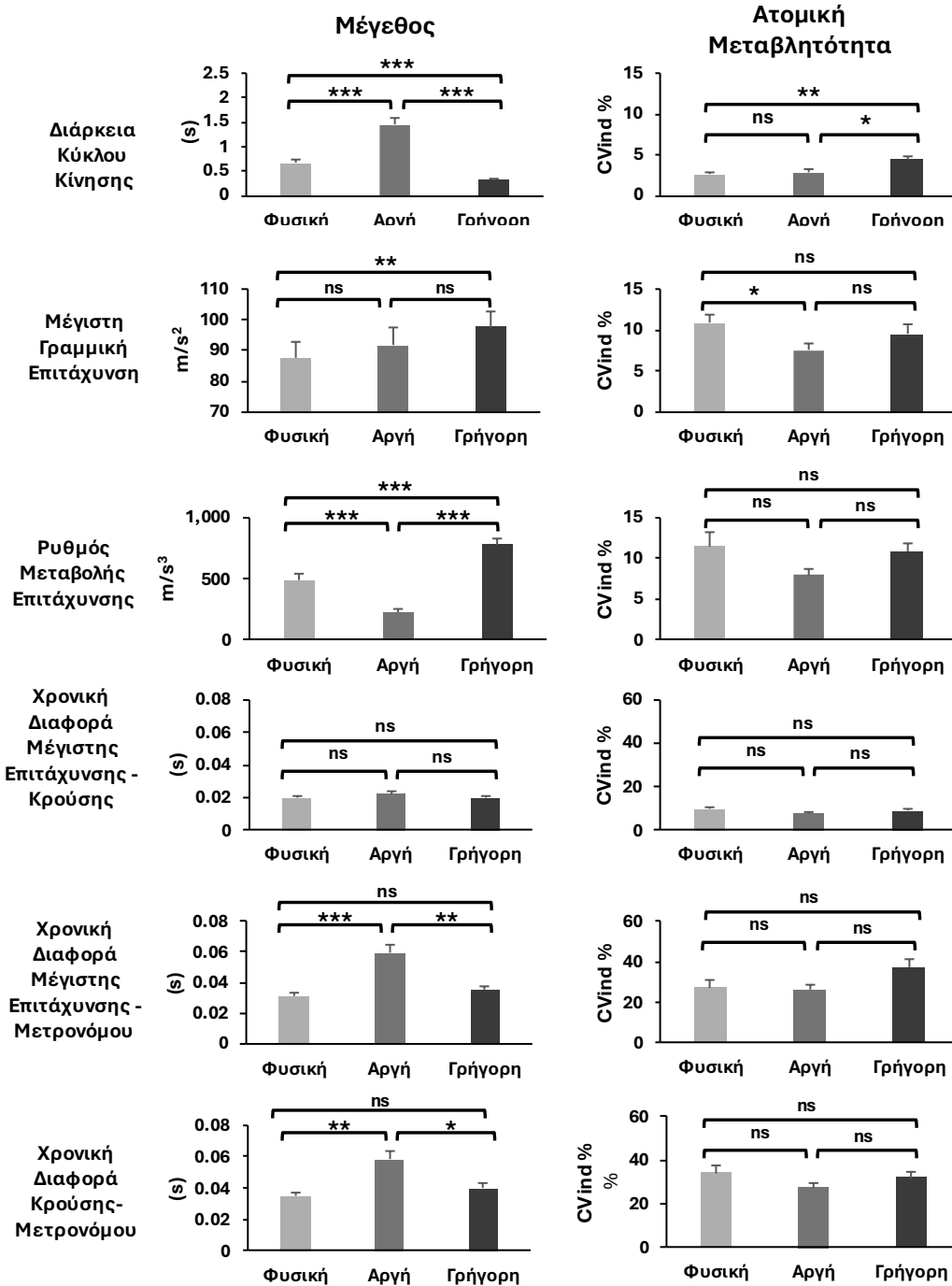


Σχήμα 4.5. Κύρια επίδραση οπτικής οξύτητας (ΟΟ) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (ακουστικού ερεθίσματος ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους για το μέγεθος και την ατομική μεταβλητότητα των εξεταζόμενων παραμέτρων, μεταξύ των ομάδων τυπικής και μη τυπικής ΟΟ. Σημαντική επίδραση: * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns μη σημαντική επίδραση.



Σχήμα 4.6. Κύρια επίδραση ακουστικού ερεθίσματος (AE) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (οπτικής οξύτητας ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους όπου υπήρχε σημαντική διαφορά στο μέγεθος ή/και την ατομική μεταβλητότητα αυτών, μεταξύ των συνθηκών AE (Χωρίς AE-Με AE). Σημαντική επίδραση: * $p \leq 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$, ns μη σημαντική επίδραση.

Επίδραση Ρυθμικής Ταχύτητας



Σχήμα 4.3. Κύρια επίδραση ρυθμικής ταχύτητας (AE) χωρίς διάκριση ως προς τα επίπεδα ετέρου παράγοντα (οπτικής οξύτητας ή ρυθμικής ταχύτητας) για τις παραμέτρους όπου υπήρχε σημαντικότητα της διαφοράς στο μέγεθος ή/και την ατομική μεταβλητότητα αυτών, μεταξύ των συνθηκών AE (Χωρίς AE-Με AE). Σημαντική επίδραση: * $p \leq 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$, ns μη σημαντική επίδραση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

Συζήτηση

5.1. Εισαγωγική παράγραφος

Σκοπός της παρούσας μελέτης, ήταν η διερεύνηση του ρόλου της ΟΟ στην επίδραση του ΑΕ και ΡΤ σε ότι αφορά το μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα του χρονικού κινηματικού προτύπου αλλά και του συγχρονισμού παραμέτρων της δοκιμασίας της επιτόπιας ποδικής κρούσης, με εφαρμογή αυτής σε ομάδα ατόμων τυπικής και μη τυπικής ΟΟ.

Ως δοκιμασία αξιολόγησης, η επαναληπτική ποδική κρούση θεωρείται έγκυρη για την ανίχνευση διαφόρων κινητικών διαταραχών (Djuric-Jovicic & Jecmenica-Lukic, 2016; Gunzler et al., 2009; Repp, 2005; Repp & Su, 2013; Rose et al., 2019; Tanigawa et al., 2017) και έχει αποδειχθεί ότι αποτελεί δοκιμασία με υψηλή ικανότητα συγχρονισμού με το εξωτερικό ΑΕ (Chen et al., 2006).

Για τον έλεγχο των ερευνητικών υποθέσεων εφαρμόστηκε ανάλυση διακύμανσης για την αλληλεπίδραση μεταξύ των κύριων επιδράσεων της μελέτης, δηλαδή αυτών της ΟΟ, του ΑΕ και της ΡΤ, σε ότι αφορά το μέγεθος και την ατομική μεταβλητότητα χρονικών παραμέτρων του κινητικού προτύπου της ποδικής κρούσης και της ατομικής μεταβλητότητας αυτών (διάρκεια κύκλου κίνησης, μέγιστη γραμμική επιτάχυνση, ρυθμός μεταβολής της επιτάχυνση) καθώς και παραγώγων παραμέτρων που αποτυπώνουν το συντονισμό της ποδικής κρούσης (χρονική διαφορά επιτάχυνσης–κρούσης), όσο και του συγχρονισμού αυτής με το μετρονομικό ΑΕ (χρονική διαφορά επιτάχυνσης–μετρονόμου και

χρονική διαφορά κρούσης–μετρονόμου).

Θεωρητική βάση αποτέλεσε η επίδραση της ΡΑΔ (ρυθμική ακουστική διέγερση) στο κινητικό πρότυπο ασθενών με νευρολογικές παθήσεις, αλλά και υγιών ατόμων. Στη διεθνή βιβλιογραφία, δεν εντοπίζονται έρευνες που να έχει εφαρμοσθεί παρόμοιο πρωτόκολλο σε πληθυσμό μη τυπικής ΟΟ, καθώς η πλειονότητα των μελετών που ασχολούνται με τη χρήση της ΡΑΔ ως εργαλείο βελτίωσης της κινητικής απόδοσης, έχουν επικεντρωθεί σε πληθυσμό που πάσχει από νευρολογικές παθήσεις, όπως το Πάρκινσον, η σκλήρυνση κατά πλάκας και το εγκεφαλικό επεισόδιο.

Σε αυτές τις μελέτες, στηρίχθηκε, η επιλογή του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου, ωστόσο το ερευνητικό ενδιαφέρον στράφηκε σε μία διαφορετική πληθυσμιακή ομάδα, που στηρίζεται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην αίσθηση της ακοής για τον προσανατολισμό και την κίνηση τους στον χώρο, καθώς η όραση τους είναι ιδιαίτερα χαμηλή έως και απύσχα. Για περιπτώσεις ατόμων μη τυπικής ΟΟ οι βιβλιογραφικές ενδείξεις επιτρέπουν την λογική τεκμηρίωση του ερευνητικού ερωτήματος σχετικά με το ρόλο της ΟΟ στην επίδραση του ΑΕ και της ΡΤ.

Το σύνολο της υπάρχουσας βιβλιογραφίας, που έχει συμπεριλάβει στο δείγμα της, άτομα με την μη τυπική ΟΟ, δεν έχει διερευνήσει την επίδραση των ΑΕ στο κινητικό πρότυπο των συμμετεχόντων. Κυρίως έχουν εστιάσει, στον τρόπο με τον οποίο αυτά τα άτομα χρησιμοποιούν τις ακουστικές πληροφορίες με σκοπό την πρόσληψη χωρικών πληροφοριών του ΑΕ και τον προσανατολισμό τους

στον περιβάλλοντα χώρο. Ωστόσο, έχοντας ένα μεγάλο αριθμό ερευνών, εστιασμένο, στην μελέτη της επίδρασης των ΑΕ στην κίνηση ατόμων με νευρολογικές παθήσεις, η σημασία της διερεύνησης του τρόπου με τον οποία τα ΑΕ επιδρούν στο κινητικό πρότυπο ατόμων που στερούνται της αίσθησης της όρασης και επομένως βασίζονται σχεδόν εξ' ολοκλήρου στην αίσθηση της ακοής, είναι αδιαμφισβήτητη. Σε περιπτώσεις όπου ένας ήχος συνοδεύει ένα κινούμενο ερέθισμα, ο ανθρώπινος εγκέφαλος είναι ικανός να εξάγει τόσο χωρικές όσο και χρονικές πληροφορίες από αυτόν, υπολογίζοντας ακόμα και την ταχύτητα με την οποία κινείται αυτός ο ήχος (Bertonati et al., 2021). Σε περιπτώσεις όπου τα οπτικά ερεθίσματα είναι θολά, η αίσθηση που κυριαρχεί πλέον, για τον προσδιορισμό των χωρικών πληροφοριών, είναι η ακοή (Alais & Burr, 2004). Ωστόσο, η όραση δεν υπερτερεί πάντα της ακοής. Έρευνες έχουν διαπιστώσει ότι η ακοή κυριαρχεί στην επεξεργασία των χρονικών χαρακτηριστικών των ακουστικών ερεθισμάτων (Aschersleben & Bertelson, 2003; Burr et al., 2009; Fendrich & Corballis, 2001; Freeman et al., 2014; Guttman et al., 2005).

Οι Gandhi και συνεργάτες (2013), στην μελέτη τους, διερεύνησαν την ύπαρξη διαφορών ανάμεσα στους χρόνους αντίδρασης σε ΑΕ, μεταξύ ατόμων με έλλειψη όραση και ατόμων με φυσιολογική όραση. Ο χρόνος αντίδρασης έχει οριστεί ως το χρονικό διάστημα μεταξύ της εφαρμογής ενός ερεθίσματος και της εμφάνισης εθελοντικής απόκρισης του ατόμου όσο το δυνατόν γρηγορότερα (Teichner, 1954). Πρόκειται για ένα

μέτρο της λειτουργικότητας του αισθητηριοκινητικού συστήματος (Shenvi & Balasubramanian, 1994) και της απόδοσης του ατόμου (Das et al., 1997). Περιλαμβάνει την επεξεργασία του ερεθίσματος, τη λήψη αποφάσεων και τον προγραμματισμό της απόκρισης (Gandhi et al., 2013). Στην μελέτη των Gandhi και συνεργατών, τα μάτια των συμμετεχόντων και των δύο ομάδων καλύφθηκαν με ένα σκούρο ύφασμα. Ο δείκτης του κυριάρχου χεριού του κάθε συμμετέχοντα χρησιμοποιήθηκε για να ληφθεί ο χρόνος αντίδρασης αντίδραση του κάθε ατόμου, πιέζοντας ένα κλειδί τη στιγμή που άκουγαν το ακουστικό ερέθισμα. Τέσσερα διαφορετικά ακουστικά ερεθίσματα χρησιμοποιήθηκαν και για τις 2 ομάδες συμμετεχόντων (κόρνα, κουδούνι, ντέφι, σφυρίχτρα) (Gandhi et al., 2013). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι για την ομάδα των τυφλών ατόμων, ο μέσος όρος του χρόνου αντίδρασης ήταν πιο αργός για τα ακουστικά ερεθίσματα της κόρνας και του κουδουνιού, σε σύγκριση με τα άτομα με φυσιολογική όραση (Gandhi et al., 2013). Αντίθετα, για τα ακουστικά ερεθίσματα με το ντέφι και τη σφυρίχτρα, ο μέσος όρος του χρόνου αντίδρασης των τυφλών ατόμων ήταν πιο γρήγορος από την ομάδα ελέγχου. Ωστόσο, οι διαφορές ανάμεσα στις δύο ομάδες ατόμων, δεν βρέθηκε να έχουν στατιστικά σημαντική ισχύ (Gandhi et al., 2013). Τα αποτελέσματα αυτά συμβαδίζουν με την μελέτη του Bernard, που έγινε σε 10 τυφλά άτομα και 10 άτομα με φυσιολογική όραση και έδειξε ότι δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική διαφορά στο χρόνο αντίδρασης μεταξύ των δύο ομάδων (Bernard, 1979).

Επομένως παρά το γεγονός ότι τα άτομα με περιορισμό όρασης τείνουν να βασίζονται σε ακουστικές πληροφορίες για την συγκέντρωση χώρο-χρονικών χαρακτηριστικών των ερεθισμάτων του περιβάλλοντος χώρου (Amadeo et al., 2020; Gaver, 1993; Gori et al., 2018; Papadopoulos et al., 2012), έχει διαπιστωθεί ότι δεν υπάρχουν στατιστικά σημαντικές διαφορές όσον αφορά τους χρόνους αντίδρασης, σε ακουστικά ερεθίσματα, των τυφλών ατόμων σε σύγκριση με άτομα με φυσιολογική όραση (Bernard, 1979; Gandhi et al., 2013). Επίσης, στην έρευνα των Bertonati και συνεργατών (2021) οι ερευνητές συγκρίνοντας άτομα με μη τυπική ΟΟ και άτομα με τυπική ΟΟ, με σκοπό να διερευνήσουν πως η στέρηση της οπτικής πληροφορίας επηρεάζει τη χρήση των χωρικών και χρονικών ενδείξεων στην αντίληψη των κινούμενων ΑΕ, παρατήρησαν ότι τα άτομα με μη τυπική ΟΟ, είχαν μεγαλύτερη δυσκολία στη αναγνώριση των ταχυτήτων των ακουστικών πληροφοριών (Bertonati et al., 2021).

Τα παραπάνω ευρήματα δεν μπορούν να συσχετισθούν άμεσα με τα δικά μας αποτελέσματα, καθώς ο σκοπός των υπάρχουσών μελετών όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι προσανατολισμένος σε διαφορετική κατεύθυνση, ωστόσο δεδομένου της έλλειψης παρόμοιου πρωτόκολλου για τη συγκεκριμένη πληθυσμιακή ομάδα, αποτελούν ένα δείγμα της γενικότερης απόδοσης ατόμων με μη τυπική ΟΟ συγκριτικά με άτομα με φυσιολογική όραση.

5.2. Ο ρόλος της ΟΟ στην αλληλεπίδραση ΑΕ και ΡΤ

Στην παρούσα μελέτη βρέθηκε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ

ΟΟ-ΑΕ-ΡΤ μόνο για μία παράμετρο, αυτή της ατομικής μεταβλητότητας της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης – κρούσης, την παράμετρο που αποτυπώνει το συντονισμό της κίνησης.

5.3. Αλληλεπίδραση ΟΟ και ΑΕ

Η ΟΟ φαίνεται να καθορίζει την επίδραση του ΑΕ στο μέγεθος του ρυθμού μεταβολής της επιτάχυνσης και την ατομική μεταβλητότητα της διάρκειας του κύκλου κίνησης και της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης – κρούσης, όπως αναδείχθηκε από τη σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ ΟΟ και ΑΕ. Πιο συγκεκριμένα, τα άτομα με περιορισμό όρασης, παρουσία ΑΕ, έκαναν πιο “ομαλή” την κίνηση τους (μείωση του ρυθμού μεταβολής της επιτάχυνσης), σε αντίθεση με τα άτομα με τυπική ΟΟ, τα οποία υπό την ακρόαση ΑΕ, αύξησαν το ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης. Επίσης, υπό την παρουσία ΑΕ, τόσο τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ όσο και εκείνα με τυπική ΟΟ, μείωσαν τη μεταβλητότητα της διάρκειας κύκλου κίνησης, με τη μείωση να είναι μεγαλύτερη στα άτομα μη τυπικής ΟΟ. Τέλος, ένα εύρημα που ενδεχομένως συνδέεται με το συντονισμό της κίνησης είναι η αύξηση της ατομικής μεταβλητότητας της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης – κρούσης στα άτομα με την μη τυπική ΟΟ εύρημα που δηλώνει λιγότερο καλό συντονισμό κατά τη παρουσία ΑΕ στην ομάδα αυτή. Σε αντίθεση, στα άτομα με τυπική ΟΟ, η παρουσία ΑΕ μείωσε την ατομική μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης – κρούσης, μια ένδειξη καλύτερου συντονισμού.

Η διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων ΟΟ όσον αφορά το ρυθμό μεταβολής

της επιτάχυνσης (ροή της κίνησης) και τη μεταβλητότητα της διάρκειας του κύκλου κίνησης, όταν υπάρχει ΑΕ μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι άτομα με μη τυπική ΟΟ στηρίζονται περισσότερο στα ακουστικά ερεθίσματα για να αντισταθμίσουν την έλλειψη της οπτικής πληροφορίας. Ο μετρονόμος, που χρησιμοποιήθηκε για την συνθήκη παρουσίας ΑΕ, πιθανώς, να λειτούργησε ως ένας εξωτερικός ρυθμιστικός παράγοντας, ώστε να συγχρονίσουν την κίνηση τους με περισσότερη ακρίβεια και να ελέγξουν τον ροή της κίνησης (πιο ομαλή κίνηση). Επομένως, η μακροπρόθεσμη εξάρτηση τους από ηχητικά ερεθίσματα, είναι πιθανό, να τους επιτρέπει να εκτελούν πιο ομαλές και πιο ελεγχόμενες κινήσεις, με λιγότερες απότομες αλλαγές στην επιτάχυνση, όταν αυτές καθοδηγούνται από ένα ηχητικό ερέθισμα. Μια ακόμη πιθανή εξήγηση της διαφοράς μεταξύ των ομάδων ΟΟ ενδεχομένως να είναι το γεγονός ότι, τα άτομα που έχουν φυσιολογική όραση ενδέχεται να βασίζονται περισσότερο στην αίσθηση της όρασης για την καθοδήγηση της κίνησης τους. Η παρουσία ΑΕ ίσως δρα ως ένας επιπρόσθετος παράγοντας ελέγχου και στην προσπάθεια ενσωμάτωσης αυτών των επιπρόσθετων αισθητηριακών πληροφοριών, στερούμενοι αυτή τη φορά την αίσθηση της όρασης (και οι συμμετέχοντες τυπικής ΟΟ φορούσαν μάσκα), ενδεχομένως να είχε ως αποτέλεσμα λιγότερο ομαλές κινήσεις.

Τέλος, όσον αφορά τη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-κρούσης, τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ, παρουσίασαν αύξηση κατά την παρουσία ΑΕ, ενώ τα άτομα με τυπική

ΟΟ, εμφάνισαν μείωση. Το εύρημα αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα άτομα που στερούνται όρασης έχουν μεγαλύτερη δυσκολία στον ακριβή συγχρονισμό της στιγμής της κρούσης λόγω έλλειψης οπτικής πληροφορίας, κάτι που δεν αντισταθμίζεται πλήρως από την διευκόλυνση που θεωρητικά προσφέρει το ΑΕ. Αντίθετα, τα άτομα με φυσιολογική όραση, παρά το γεγονός ότι είχαν καλυμμένα τα μάτια τους, μείωσαν τη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι παρόλο που δεν είναι συνηθισμένα, να βασίζονται αποκλειστικά στο ΑΕ, και επομένως το χρησιμοποιούν με λιγότερο αποτελεσματικό τρόπο, ενδεχομένως η συνολική στρατηγική της κίνησης τους να είναι περισσότερο ρυθμισμένη και αυτοματοποιημένη, σε βαθμό τέτοιο που δεν μπορεί να επηρεαστεί σημαντικά από την απουσία της οπτικής πληροφορίας.

5.4. Αλληλεπίδραση ΟΟ και ΡΤ

Η ΡΤ είχε σημαντική αλληλεπίδραση με την ΟΟ, για το μέγεθος της διάρκειας του κύκλου κίνησης, της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης-μετρονόμου και της χρονικής διαφοράς κρούσης-μετρονόμου, ενώ σημαντική αλληλεπίδραση παρατηρήθηκε μόνο για τη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς κρούσης-μετρονόμου.

Αν και δεν εντοπίζονται σχετικές μελέτες διερεύνησης του ρόλου της ΟΟ στην επίδραση της ΡΤ, τα αποτελέσματα αυτά συγκλίνουν στο ρόλο της ΡΤ για τη διαφοροποίηση του κινητικού προτύπου εξαιτίας έτερων παραγόντων, με την ΡΤ να καθορίζει την επίδραση αυτών (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax,

2012; Hausdorff et al., 2007; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; M. Thaut et al., 1996; Willems et al., 2006; Wittwer et al., 2013; Yu et al., 2015).

Πιο συγκεκριμένα για τα μεγέθη της διάρκειας κύκλου κίνησης, στη φυσική PT, οι 2 ομάδες είχαν παρόμοιες τιμές, επομένως παρουσιάζουν ίδια συμπεριφορά, στην αργή PT, η ομάδα με την μη τυπική ΟΟ παρουσιάζει πολύ μεγαλύτερη μείωση της διάρκειας κύκλου κίνησης, γεγονός που ενδεχομένως οφείλεται στην μεγαλύτερη εξάρτηση τους από το ΑΕ, για το συγχρονισμό της κίνησης τους. Τέλος, στη γρήγορη PT, οι 2 ομάδες παρουσιάζουν μικρή διαφορά, με την ομάδα με την μη τυπική ΟΟ να έχει ελαφρώς μικρότερη διάρκεια κύκλου κίνησης. Συμπερασματικά, η αργή ταχύτητα, φαίνεται να επηρεάζει περισσότερο τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ, ενώ στις φυσικές και γρήγορες ταχύτητες, η επίδραση είναι παρόμοια. Η παραπάνω παρατήρηση, πιθανώς να οφείλεται στο γεγονός ότι στις αργές ταχύτητες απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στον ρυθμό της κίνησης. Σε παρόμοιο πλαίσιο, η χρονική διαφορά επιτάχυνσης-μετρονόμου και η χρονική διαφορά κρούσης-μετρονόμου, για τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ, αυξάνεται σημαντικά στην αργή PT και είναι μεγαλύτερη σε όλες τις PT συγκριτικά με την ομάδα με τυπική ΟΟ όπου έχει πολύ πιο σταθερές τιμές ανάμεσα στις PT.

Στα άτομα με μη τυπική ΟΟ, η μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς κρούσης-μετρονόμου, είναι πολύ υψηλή στη φυσική PT αλλά μειώνεται αισθητά στην αργή PT. Το εύρημα αυτό έρχεται σε αντίφαση με τη μεγάλη μεταβολή στα μεγέθη των

χρονικών διαφορών που εμφάνισαν στις αργές PT, τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ. Αυτή η παρατήρηση μπορεί να εξηγείται καθώς στις αργές PT, αν και τα άτομα με την μη τυπική ΟΟ έχουν μεγαλύτερες χρονικές αποκλίσεις (δυσκολία συγχρονισμού), καταφέρνουν να εμφανίζουν πιο σταθερή απόδοση (μειωμένη μεταβλητότητα). Δηλαδή, είναι ικανά να επαναλαμβάνουν το ίδιο σφάλμα με πιο σταθερό τρόπο. Αντίθετα, στις φυσικές και γρήγορες PT, αυξάνουν τη μεταβλητότητα τους καθώς δεν είναι εύκολο να διατηρήσουν το ίδιο πρότυπο, λόγω μεγαλύτερης ταχύτητας. Τέλος, όσον αφορά τα άτομα με τυπική ΟΟ, η μεταβλητότητα τους μένει σταθερή για όλες τις PT.

5.5. Αλληλεπίδραση ΑΕ και PT

Το ακουστικό ερέθισμα εμφάνισε σημαντική αλληλεπίδραση με τη PT για το μέγεθος της μέγιστης γραμμικής επιτάχυνσης και της διάρκειας του κύκλου κίνησης, γεγονός που υποδηλώνει ότι διαφορετικοί συνδυασμοί ΑΕ και PT επιδρούν με διαφορετικό τρόπο, σε αυτές τις μεταβλητές (χωρίς σημαντική αλληλεπίδραση για τη μεταβλητότητα καμίας παραμέτρου).

Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαίωσαν την υπόθεση για ύπαρξη αλληλεπίδρασης μεταξύ ΑΕ και PT η οποία βασίστηκε σε μελέτες που έχουν υποστηρίξει πως η επιλογή διαφορετικών PT καθορίζει και την επίδραση του ΑΕ στο κινητικό πρότυπο των συμμετεχόντων (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012; Hausdorff et al., 2007; Minino et al., 2021; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; M. Thaut et al., 1996; Willems

et al., 2006; Wittwer et al., 2013; Yu et al., 2015).

Ειδικότερα, για τη διάρκεια του κύκλου κίνησης, παρατηρείται σημαντική μείωση όσο αυξάνεται η ταχύτητα, ενώ για τη μέγιστη γραμμική επιτάχυνση, το ΑΕ προκαλεί αύξηση της επιτάχυνσης και στις τρεις PT. Η μέγιστη επιτάχυνση και στις 2 συνθήκες ΑΕ αυξήθηκε στις αργές και γρήγορες PT, ωστόσο κατά την παρουσία ΑΕ, η αύξηση ήταν μεγαλύτερη. Όπως έχει ήδη συζητηθεί παραπάνω, η πλειονότητα των μελετών που έχουν γίνει για την επίδραση του ΑΕ στο κινητικό πρότυπο, έχουν εξετάσει τη δοκιμασία της βάρδισης και έχουν χρησιμοποιήσει ΑΕ, είτε σταθερών ρυθμικών ταχυτήτων είτε ρυθμικής ταχύτητας ανάλογης της προτιμώμενης φυσικής ρυθμικής ταχύτητας βάρδισης των συμμετεχόντων. Το σύνολο των αποτελεσμάτων έρχεται σε συμφωνία και με τα δικά μας αποτελέσματα, υποστηρίζοντας ότι ΑΕ αυξημένης ρυθμικής ταχύτητας της φυσικής οδηγούν σε μικρότερες διάρκειες κύκλων κίνησης και μεγαλύτερες ταχύτητες κίνησης, ενώ ΑΕ αργής PT, αυξάνει τις διάρκειες των κύκλων κίνησης και μειώνει την ταχύτητα της κίνησης (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Minino et al., 2021; Murgia, 2018; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Rubinstein et al., 2002; Schreiber et al., 2016; Shahraki et al., 2017; Willems et al., 2006; Yoon & Kang, 2016; Yu et al., 2015).

5.6. Κύρια επίδραση ΑΕ

Η υπόθεση για τη σημαντική επίδραση του ΑΕ ή τον καθορισμό της επίδρασης έτερου παράγοντα (π.χ. ΟΟ ή PT, στην παρούσα εργασία)

βασίστηκε σε μελέτες που εξετάζουν την επίδραση του ΑΕ στο κινητικό πρότυπο των νευρολογικών ασθενών και υποστηρίζουν ότι η ύπαρξη ΑΕ κατά την βάρδιση ή κατά την εκτέλεση επαναλαμβανόμενων κτύπων των δακτύλων των χεριών ή των ποδιών, βελτιώνει σημαντικά τα χώρο-χρονικά χαρακτηριστικά της κίνησης των συμμετεχόντων (Leman et al., 2013; Murgia, 2018; Wright et al., 2016; Yoon & Kang, 2016).

Αναφορικά με την επίδραση του ΑΕ, τα αποτελέσματα μας έδειξαν, ότι η ύπαρξη ΑΕ, μειώνει σημαντικά τη διάρκεια του κύκλου κίνησης αλλά και τη μεταβλητότητα της τόσο στην ομάδα τυπικής όσο και στην ομάδα μη τυπικής οπτικής οξύτητας. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα έρχεται σε συμφωνία με προηγούμενες μελέτες, οι οποίες είτε έχουν ελέγξει την επίδραση του ΑΕ κατευθείαν εξετάζοντας τη μεταβλητή της διάρκειας του κύκλου κίνησης και έχουν διαπιστώσει ότι υπάρχει μείωση, παρουσία ΑΕ (Ko et al., 2016; Nowakowska-Lipiec et al., 2021), είτε έχουν ελέγξει την επίδραση του ΑΕ στο ρυθμό της βάρδισης (βήματα / λεπτό), και έχουν διαπιστώσει ότι παρουσία ΑΕ, ο ρυθμός αυξάνεται, συμπεραίνοντας ότι, η διάρκεια του κύκλου κίνησης μειώνεται (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Minino et al., 2021; Murgia, 2018; Shahraki et al., 2017; M. Thaut & Abiru, 2010; Willems et al., 2006; Yoon & Kang, 2016; Yu et al., 2015). Εστιάζοντας στις μελέτες που έλεγξαν απευθείας την διάρκεια του κύκλου κίνησης, στην μελέτη των Ko et al. (2016) συμμετείχαν άτομα που νοσούσαν από χρόνιο εγκεφαλικό επεισόδιο και η δοκιμασία που επιλέχθηκε ήταν η βάρδιση. Οι συμμετέχοντες βάρδισαν με τη

προτιμώμενη φυσική ταχύτητα τους τρεις φορές και στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε βάρδια με ΑΕ, ΡΤς ίσης με -10% , -5% , 0% , $+5\%$, και $+10\%$ της φυσικής. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα τους, για τις συνθήκες ΑΕ, ρυθμικής ταχύτητας πιο αργής από την φυσική (-10% & -5%), η διάρκεια του κύκλου κίνησης αυξήθηκε ενώ για τις ΡΤ που ήταν πιο γρήγορες από τη φυσική ($+5\%$ & $+10\%$), η διάρκεια του κύκλου κίνησης μειώθηκε σημαντικά, συγκριτικά με τη βάρδια χωρίς την παρουσία ΑΕ. Για τη συνθήκες ΑΕ, ρυθμικής ταχύτητας ίσης με τη φυσική, η διάρκεια του κύκλου κίνησης έμεινε σταθερή.

Στη μελέτη των [Nowakowska-Lipiec](#) και συνεργατών (2021) συμμετείχαν υγιή άτομα και η δοκιμασία ήταν και αυτή τη φορά η βάρδια. Οι συμμετέχοντες, στο πρώτο μέρος της πειραματικής διαδικασίας βάρδισαν με την προτιμώμενη φυσική ταχύτητα τους και στη συνέχεια βάρδισαν, παρουσία 4 διαφορετικών ρυθμικών ταχυτήτων, το πρώτο ΑΕ είχε ΡΤ ίση με 120 bpm, το δεύτερο ήταν ίσης ρυθμικής ταχύτητας με την φυσική του εκάστοτε συμμετέχοντα, το τρίτο ήταν ρυθμικής ταχύτητας ορισμένης 10% πάνω από τη φυσική τους και το τέταρτο ρυθμικής ταχύτητας ίσης με τη διπλάσια της φυσικής τους. Επίσης, οι συμμετέχοντες χωρίστηκαν σε 2 ομάδες. Η πρώτη δεν γνώριζε το σκοπό της μελέτης και δεν έλαβε καμία προφορική οδηγία κατά την πειραματική διαδικασία, ενώ η δεύτερη ενημερώθηκε για το σκοπό και έλαβε την οδηγία να συγχρονίσει τα πατήματα κατά τη βάρδια με το μετρονομικό κτύπο. Τα αποτελέσματα για την επίδραση του ΑΕ, για την ομάδα που δεν γνώριζε το σκοπό της

μελέτης ήταν η αύξηση της διάρκειας του κύκλου κίνησης για όλες τις ΡΤ ΑΕ. Αντίθετα, η ομάδα που ήταν ενημερωμένη για τη διαδικασία, μείωσε τη διάρκεια του κύκλου κίνησης για όλες τις ΡΤ του ΑΕ. Τα αποτελέσματα και των δύο μελετών έδειξαν ότι ΡΤ πιο γρήγορες κατά 5 και 10% από τη φυσική, οδηγούν σε μείωση της διάρκειας του κύκλου βάρδισης. Ωστόσο, η διάρκεια του κύκλου κίνησης με ΑΕ ρυθμικής ταχύτητας ίσης με τη φυσική των συμμετεχόντων, οι παραπάνω μελέτες δεν παρατήρησαν σημαντικές επιδράσεις. Η διαφορά αυτή στα αποτελέσματα, συγκριτικά με τα δικά μας, ενδεχομένως να οφείλεται στη διαφορετική δοκιμασία που εξετάστηκε η παράμετρος της διάρκειας του κύκλου κίνησης. Η βάρδια αποτελεί μια πιο περίπλοκη κίνηση που απαιτεί το συντονισμό πολλών μελών του σώματος, ισορροπία και συνεχή κίνηση στο χώρο, σε αντίθεση με την επιτόπια ποδική κρούση, που επιλέχθηκε στην δική μας περίπτωση, η οποία χαρακτηρίζεται από λιγότερους βαθμούς ελευθερίας.

Όσον αφορά τη μείωση της μεταβλητότητας της διάρκειας του κύκλου κίνησης που παρατηρήσαμε, προηγούμενες μελέτες έχουν αναφέρει μείωση της μεταβλητότητας της διάρκειας διασκελισμού, παρουσία ΑΕ ([del Olmo & Cudeiro, 2005](#); [Hausdorff et al., 2007](#); [Terrier & Dériaz, 2012](#)), της μεταβλητότητας της διάρκειας βηματισμού και του χρόνου διπλής στήριξης ([Baker et al., 2008](#); [Wright et al., 2016](#)). Η μείωση που παρατηρήθηκε στη διάρκεια του κύκλου κίνησης, παρουσία ΑΕ, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι ο μετρονόμος λειτούργησε για τους συμμετέχοντες ως εξωτερικός

ρυθμιστής της κίνησης, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύκολο να διατηρήσουν ένα πιο σταθερό κινητικό πρότυπο (Repp & Su, 2013).

5.7. Κύρια επίδραση PT

Η υπόθεση για σημαντική επίδραση της PT ή τον καθορισμό της επίδρασης έτερου παράγοντα (π.χ. ΟΟ ή ΑΕ, στην παρούσα εργασία) βασίστηκε σε μελέτες, που εξετάζουν την επίδραση της ΡΑΔ σε δοκιμασίες βάδισης υπό συνθήκες διαφορετικής ταχύτητας. Τα αποτελέσματα του συνόλου των ερευνών, συμφωνούν και υποδεικνύουν ότι ΑΕ με PT πιο γρήγορη από τη προτιμώμενη φυσική των συμμετεχόντων είχαν ως αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας βάδισης, ενώ αντίθετα ακουστικά ερεθίσματα ορισμένα σε PT μικρότερη της φυσικής, είχαν ως αποτέλεσμα πιο αργές ταχύτητες βάδισης, τόσο για τους ασθενείς όσο και για τους υγιείς (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Hausdorff et al., 2007; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Minino et al., 2021; Murgia, 2018; Rubinstein et al., 2002; Shahraki et al., 2017; M. Thaut & Abiru, 2010; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015). Η ταχύτητα της βάδισης, η οποία έχει ελεγχθεί ως επί το πλείστον για την επίδραση της ΡΑΔ στην κίνηση, δεν μπορεί να συσχετισθεί άμεσα με την μέγιστη γραμμική επιτάχυνση ή το ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης, που ελέγξαμε εμείς. Ωστόσο, τα αποτελέσματα μας, σύμφωνα με τα οποία η επιτάχυνση παρουσίασε αύξηση στην αργή και γρήγορη PT, συγκριτικά με τη φυσική θα μπορούσαν να οφείλονται στην ανάγκη προσαρμογής της κίνησης με στόχο το συγχρονισμό με το ΑΕ. Πιο συγκεκριμένα, καθώς οι

συμμετέχοντες προσπαθούν να συγχρονιστούν με το μετρονόμο, σε έναν αργό ρυθμό, η επιτάχυνση μπορεί να αυξηθεί καθώς γίνεται προσπάθεια να ρυθμιστεί η καθυστέρηση στην έναρξη της κίνησης, ενώ σε έναν γρήγορο ρυθμό μπορεί να αυξάνεται για να διατηρηθεί ο συγχρονισμός με τον πιο απαιτητικό, ταχύτερο μετρονομικό ρυθμό.

Η PT είχε σημαντική επίδραση και στη διάρκεια του κύκλου κίνησης, η οποία παρουσίασε αύξηση στην αργή και μείωση στη γρήγορη PT, λόγω της αυξομείωσης της ταχύτητας πραγματοποίησης της δοκιμασίας. Αυτό το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει τη συνοχή των μετρήσεων, καθώς τα ευρήματα είναι συνεπή με τις θεωρητικές προσδοκίες για τη σχέση μεταξύ ταχύτητας και διάρκειας κύκλου κίνησης. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, προ υπάρχουσες έρευνες έχουν υποστηρίξει ότι σε περιπτώσεις όπου το ΑΕ είχε αυξημένη PT, η ταχύτητα κίνησης παρουσίαζε αύξηση και η διάρκεια του κύκλου κίνησης μειωνόταν ενώ αντίθετα σε περιπτώσεις που χρησιμοποιούταν ένα πιο αργό ΑΕ, η ταχύτητα κίνησης μειωνόταν και η διάρκεια του κύκλου κίνησης αυξανόταν (Arias & Cudeiro, 2010; del Olmo & Cudeiro, 2005; Ko et al., 2016; Leman et al., 2013; Minino et al., 2021; Murgia, 2018; Nowakowska-Lipiec et al., 2021; Rubinstein et al., 2002; Schreiber et al., 2016; Shahraki et al., 2017; Willems et al., 2006; Yoon & Kang, 2016; Yu et al., 2015). Επίσης, φάνηκε να επιδρά σημαντικά και στη μεταβλητότητα της συγκεκριμένης παραμέτρου, όπου παρατηρήθηκε αύξηση στην αργή και στη γρήγορη ταχύτητα, γεγονός που υποδηλώνει ότι η φυσική PT είναι η καλύτερη για τη διατήρηση ενός σταθερού ρυθμού

βηματισμού (del Olmo & Cudeiro, 2005).

Όσον αφορά το ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης, που όπως αναφέρθηκε, αποτελεί δείκτη της ροής της κίνησης, η μείωση που παρατηρείται στην αργή PT, ενδεχομένως να οφείλεται στο γεγονός ότι σε αργή ταχύτητα, οι συμμετέχοντες έχουν περισσότερο χρόνο να εκτελέσουν την κίνηση με μεγαλύτερη ακρίβεια και έλεγχο. Επομένως η επιτάχυνση αυξάνεται πιο σταδιακά και ελεγχόμενα. Στην γρήγορη PT, οι συμμετέχοντες καλούνται να προσαρμόσουν την κίνηση τους σε πολύ μικρότερο χρονικό διάστημα, επομένως πιο γρήγορα και πιο απότομα για να συγχρονιστούν με το μετρονόμο.

Οι χρονικές διαφορές επιτάχυνσης–μετρονόμου και κρούσης–μετρονόμου, παρουσίασαν αύξηση στην αργή και στην γρήγορη ταχύτητα. Οι χρονικές διαφορές, αποτελούν δείκτες του συγχρονισμού της κίνησης με το μετρονομικό κτύπο. Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα υποδηλώνουν μικρότερη ικανότητα συγχρονισμού στις αργές και γρήγορες PT συγκριτικά με την προτιμώμενη φυσική PT κίνησης των συμμετεχόντων. Στη μελέτη των Dickstein & Plax (2012), όπου έλεγξαν την ικανότητα συγχρονισμού των δοκιμαζόμενων με ένα εξωτερικό ΑΕ ρυθμικών ταχυτήτων ίσων με 60, 110 και 150 bpm, οι ερευνητές υποστήριξαν ότι η μεγαλύτερη ικανότητα συγχρονισμού εμφανίζεται για την PT των 60 bpm και η χαμηλότερη για τα 150 bpm. Ωστόσο, γνωρίζοντας ότι ο μέσος ρυθμός βάδισης υγιών ενηλίκων είναι περίπου 100–120 bpm, τα συγκεκριμένα αποτελέσματα έρχονται σε αντίθεση

με τα δικά μας, όπου υπήρξε μεγαλύτερη ικανότητα συγχρονισμού στη φυσική PT παρά στην αργή (Dickstein & Plax, 2012). Παρόλο αυτά, σε συμφωνία όμως με τις δικές μας παρατηρήσεις, στην έρευνα των Styns et al., οι ερευνητές ελέγχοντας επίσης την ικανότητα συγχρονισμού της βάδισης με το ΑΕ, παρατήρησαν ότι η βέλτιστη PT για συγχρονισμό ήταν τα 120 bpm, που όπως αναφέρθηκε προηγουμένως είναι μια μέση PT βάδισης υγιών ενηλίκων (Styns et al., 2007). Παρόμοια, οι Roerdink et al., υποστήριξαν ότι η μεταβλητότητα στο χρονισμό μεταξύ πατήματος και μετρονομικού χτύπου ήταν μικρότερη στις PT που προσέγγιζαν την φυσική προτιμώμενη ταχύτητα κίνησης των συμμετεχόντων (Roerdink et al., 2011).

Τέλος, η PT φάνηκε να έχει σημαντική επίδραση στη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς επιτάχυνσης–μετρονόμου, η οποία μειώθηκε στην αργή και αυξήθηκε στη γρήγορη PT. Η μείωση στη μεταβλητότητα της χρονικής διαφοράς, στην αργή ταχύτητα έρχεται σε αντίθεση με την επίδραση που είχε η PT στο μέγεθος της ίδιας μεταβλητής, όπου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπήρξε αύξηση για την αργή PT. Το γεγονός αυτό, υποδηλώνει ότι ενώ στην αργή PT, η ικανότητα συγχρονισμού με τον μετρονόμο είναι μειωμένη (αύξηση μεγέθους χρονικής διαφοράς), οι συμμετέχοντες είναι ικανοί να επαναλαμβάνουν πιο σταθερά τα ίδια “λάθη”, σε αυτή την ταχύτητα.

Συγκεντρωτικά, μερικές μελέτες υιοθετούν τη χρήση ΡΑΔ σταθερών συχνοτήτων (ανεξάρτητα από τον φυσικό ρυθμό του κάθε συμμετέχοντα), οι οποίες κυμαίνονται

από 60 έως 150 bpm (del Olmo & Cudeiro, 2005; Dickstein & Plax, 2012), ενώ άλλοι ερευνητές χρησιμοποιούν συχνότητες, οι οποίες βασίζονται στην ιδιοσυχνότητα του κάθε συμμετέχοντα (Nowakowska et al., 2021; Willems et al., 2006; Yu et al., 2015). Συνολικά, έχει διαπιστωθεί ότι ένα ταχύτερο ερέθισμα επηρεάζει πολλαπλές παραμέτρους της βάδισης, όπως το μήκος διασκελισμού, τον ρυθμό της βάδισης (βήματα/λεπτό) και την ταχύτητα, συγκριτικά με τη βάδιση χωρίς κανένα ερέθισμα (Minino et al., 2021).

Οι Minino και συνεργάτες (2021), εξέτασαν την επίδραση της ρυθμικής ταχύτητας μετρονομικού ΑΕ (80 έναντι 120 bpm) σε χωροχρονικές παραμέτρους βάδισης ηλικιωμένων ατόμων. Τα αποτελέσματα τους έδειξαν ότι το μετρονομικό ΑΕ με χαμηλότερη PT (80 bpm) είχε διακριτά διαφορετική επίδραση συγκριτικά με αυτό της υψηλότερης ρυθμικής ταχύτητας (120 bpm). Με ταχύτητα αναφοράς την ελεύθερα προτιμώμενη, στα 80 bpm, διαπιστώθηκε μείωση της ταχύτητας βάδισης και αύξηση του χρόνου στήριξης, αιώρησης και συνολικά του κύκλου κίνησης, υποδεικνύοντας την ικανότητα των συμμετεχόντων να συγχρονίζονται με το ερέθισμα (Minino et al., 2021). Επίσης, η χαμηλότερη PT προκάλεσε, μείωση του μήκους διασκελισμού και αύξηση της μεταβλητότητας του χρόνου στήριξης και αιώρησης, υποδηλώνοντας μεγαλύτερη αστάθεια (Minino et al., 2021). Τα συγκεκριμένα αποτελέσματα, συμφωνούν με τους Del Olmo και συνεργάτες (2005), οι οποίοι βρήκαν ότι τόσο σε άτομα με Πάρκινσον όσο και στα υγιή άτομα της ομάδας ελέγχου, μια χαμηλή συχνότητα ΑΕ,

προκαλεί μείωση του μήκους διασκελισμού και αύξηση των παραμέτρων μεταβλητότητας της βάδισης (del Olmo & Cudeiro, 2005). Όσον αφορά το μετρονομικό ΑΕ υψηλότερης ρυθμικής ταχύτητας στα 120 bpm, παρατηρήθηκε να αυξάνει το μήκος διασκελισμού και να μειώνει τις διάρκειες στήριξης, αιώρησης και κύκλου κίνησης (Minino et al., 2021).

Η μελέτη του Minino και συνεργάτων (2021) αναδεικνύει την επιλογή ρυθμικής ταχύτητας στη βάση της ιδιοσυχνότητας του κάθε ατόμου, ως μια πιο ολοκληρωμένη στρατηγική προσέγγισης, καθώς η μη συνεκτίμηση των ατομικών χαρακτηριστικών του κινητικού προτύπου ενδεχομένως να συνεπάγεται και την εφαρμογή ΑΕ που θα είναι επιζήμια για την κίνηση στην ολότητά της. Σε παρόμοιο συμπέρασμα, συγκλίνουν και ο Jochymczyk και συνεργάτες (2019), οι οποίοι καταδεικνύουν τα ατομικά χαρακτηριστικά κάθε συμμετέχοντα ως κριτήριο για την εφαρμογή αποκατάστασης βάδισης η οποία θα επιφέρει μια βέλτιστη βελτίωση παραμέτρων του κινητικού προτύπου (Jochymczyk, et al., 2019).

5.8. Περιορισμοί εργασίας

Σημειώνεται ότι η παρούσα μελέτη έχει ορισμένους περιορισμούς. Συγκεκριμένα, στη μελέτη συμμετείχαν άτομα ηλικίας 21-51 ετών, μη τυπικής οπτικής οξύτητας και τυπικής οπτικής οξύτητας, μέτριας φυσικής κατάστασης και χωρίς εκτενή εμπειρία στη μουσική. Επίσης ελέγχθηκε η ακοή τους με ακουόγραμμα και κριτήρια αποκλεισμού αποτέλεσαν η ύπαρξη ορθοπεδικών προβλημάτων, νευρολογικών διαταραχών, η μειωμένη ακοή και τυχόν διαταραχές

του αιθουσαίου συστήματος. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα δεν μπορούν να γενικευθούν σε άλλες πληθυσμιακές ομάδες που δεν εμπίπτουν στις παραπάνω οριοθετήσεις.

Επίσης, το είδος του ΑΕ που επιλέχθηκε, ενδεχομένως να είναι περιοριστικό για την ανάδειξη διαφορών, καθώς ο μετρονομικός κτύπος αποτελεί ένα απλό περιοδικό ΑΕ, ενώ ένα μουσικό ΑΕ διακρίνεται από περιοδικότητα με πιο σύνθετη ηχητική δομή.

5.9. Συμπεράσματα

Σκοπός της παρούσας μελέτης, ήταν η διερεύνηση του ρόλου της ΟΟ στην επίδραση του ΑΕ και ΡΤ σε ότι αφορά το μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα του χρονικού κινηματικού προτύπου αλλά και του συγχρονισμού παραμέτρων της έγκυρης δοκιμασίας της επιτόπιας ποδικής κρούσης, με εφαρμογή αυτής σε ομάδα ατόμων τυπικής και μη τυπικής ΟΟ.

Συνολικά, η ΟΟ φάνηκε να καθορίζει την αλληλεπίδραση μεταξύ ΑΕ και ΡΤ, αλλά και την επίδραση του ΑΕ και αυτή της ΡΤ, αναδεικνύοντας τη θετική της συμβολή στην κινητική διεργασία ατόμων όπου η όρασή τους είναι ελλιπής καθώς και την προοπτική της ως εργαλείο κινητικής ενίσχυσης στις περιπτώσεις αυτών των ατόμων. Επιπλέον, ανέδειξε την στέρηση οπτικών πληροφοριών ως επιβαρυντική για την συνεπή κινητική απόδοση ατόμων με τυπική ΟΟ, ενδεχομένως γιατί δεν διαθέτουν άμεσα αντισταθμιστικούς μηχανισμούς για την κατάσταση στέρησης της οπτικής πληροφορίας.

Το ΑΕ και η ΡΤ ως κύριες επιδράσεις φαίνεται να

διαφοροποιούν σημαντικά το χρονικό πρότυπο της επιλεγμένης δοκιμασίας της ποδικής κρούσης, αναδεικνύοντας την πιθανή αξία τους ως μέτρα κλιμάκωσης της αξιολόγησης σε περιπτώσεις διαταραχών που συνδέονται είτε με τη υστέρηση περιβαλλοντικών πληροφοριών (μειωμένη όραση ή ακοή) καθώς και στην αξιολόγηση κινητικών δυσλειτουργιών νευρολογικής προέλευσης.

5.10. Πρακτικές εφαρμογές

Τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης μελέτης ενδεχομένως να μπορέσουν να ενσωματωθούν στην αποκατάσταση της κίνησης και στη βελτίωση της κινητικής απόδοσης, τόσο ατόμων με περιορισμούς όρασης όσο και ατόμων με φυσιολογική όραση.

Άτομα με μη τυπική ΟΟ φαίνεται να επωφελούνται από την παρουσία ακουστικών ερεθισμάτων, τα οποία τους βοηθούν να μειώσουν τη μεταβλητότητα των κινήσεων τους και να συγχρονίζουν πιο αποτελεσματικά τις κινήσεις τους με εξωτερικά ακουστικά ερεθίσματα. Επίσης, η χρήση ακουστικών ερεθισμάτων θα μπορούσε να βοηθήσει τα άτομα αυτά, να βελτιώσουν πιο γρήγορα και αποτελεσματικά, την κινητικότητα τους.

Τα αποτελέσματα ωστόσο, δεν περιορίζονται μόνο σε άτομα που αντιμετωπίζουν προβλήματα όρασης. Τα ευρήματα σχετικά με την επίδραση της ρυθμικής ταχύτητας στην επιτάχυνση και στο ρυθμό μεταβολής της επιτάχυνσης, ενδεχομένως να μπορούν να εφαρμοσθούν από επαγγελματίες με στόχο την βελτίωση της ροής της κίνησης. Τέλος, η χρήση διαφορετικών ρυθμικών ταχυτήτων

των ΑΕ, θα μπορούσε να βελτιώσει και την ικανότητα συγχρονισμού με εξωτερικά ερεθίσματα.

Συγκεντρωτικά, τα ευρήματα της μελέτης έχουν πολλές πρακτικές εφαρμογές σε τομείς της αποκατάστασης και της αθλητικής

προπόνησης. Η ρυθμική καθοδήγηση μέσω ακουστικών ερεθισμάτων είναι ικανή να βελτιώσει τις επιδόσεις, να μειώσει τη μεταβλητότητα και να βελτιστοποιήσει το συγχρονισμό της κίνησης σε άτομα με μη τυπική ΟΟ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Alais, D., & Burr, D. (2004). The ventriloquist effect results from near-optimal bimodal integration. *Current Biology*, 14(3), 257–262. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.01.029>
- Amadeo, M. B., Campus, C., & Gori, M. (2020). Years of blindness lead to “visualize” space through time. *Frontiers in Neuroscience*, 14, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00812>
- Arias, P., & Cudeiro, J. (2010). Effect of rhythmic auditory stimulation on gait in parkinsonian patients with and without freezing of Gait. *Plos One*, 5(3), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0009675>
- Aschersleben, G., & Bertelson, P. (2003). Temporal ventriloquism: crossmodal interaction on the time dimension 2. Evidence from sensorimotor synchronization. *International Journal of Psychophysiology*, 50(1–2), 157–163. [https://doi.org/10.1016/s0167-8760\(03\)00131-4](https://doi.org/10.1016/s0167-8760(03)00131-4)
- Auyang, A. G., Yen, J. T., & Chang, Y. H. (2009). Neuromechanical stabilization of leg length and orientation through interjoint compensation during human hopping. *Experimental Brain Research*, 192(2), 253–264. <https://doi.org/10.1007/s00221-008-1582-7>
- Baker, K., Rochester, L., & Nieuwboer, A. (2008). The effect of cues on gait variability - reducing the attentional cost of walking in people with Parkinson's disease. *Parkinsonism & Related Disorders*, 14(4), 314–320. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2007.09.008>
- Bartlett, R., Wheat, J., & Robins, M. (2007). Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6(2), 224–243. <https://doi.org/10.1080/14763140701322994>
- Bégel, V., Benoit, C. E., Correa, A., Cutanda, D., Kotz, S. A., & S., D. B. (2017). “Lost in time” but still moving to the beat. *Neuropsychologia*, 94, 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2016.11.022>
- Berg, R. E., & Stork, D. G. (2004). The physics of sound (3rd edition). USA: Pearson Education, Inc.
- Bernard, J. (1979). Simple auditory reaction time in blind and sighted adolescents. *Perceptual and Motor Skills*, 48(2), 465–466. <https://doi.org/10.2466/pms.1979.48.2.465>
- Bertonati, G., Amadeo, M. B., Campus, C., & Gori, M. (2021). Auditory speed processing in sighted and blind individuals. *Plos One*, 16(9 September), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257676>
- Biopac Systems, I. (2023). Heel/toe strike transducer - bioNomadix. <https://www.biopac.com/product/heel-toe-strike-transducer-bionomadix/>
- BioPac Systems, I. (2023). BioNomadix wireless accelerometer transmitter. <https://www.biopac.com/product/bionomadix-wireless-accelerometer-transmitter/>
- Bregman, A., & Mcadams, S. (2012). Hearing Musical Streams. *Computer Music Journal*, 3(4), 26–43. <https://www.jstor.org/stable/46178>

- 66
- Burr, D., Banks, M. S., & Morrone, M. C. (2009). Auditory dominance over vision in the perception of interval duration. *Experimental Brain Research*, 198(1), 49–57. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1933-z>
- Cameron, D. J., & Grahn, J. A. (2014). Neuroscientific investigations of musical rhythm. *Acoustics Australia*, 42(2), 111–116. http://www.jessicagrahn.com/uploads/6/0/8/5/6085172/a_a_ms_revision_final_v2.pdf
- Chen, H. Y., Wing, A. M., & Pratt, D. (2006). The synchronisation of lower limb responses with a variable metronome: the effect of biomechanical constraints on timing. *Gait and Posture*, 23(3), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2005.04.001>
- Clark, E. (1999). Rhythm and timing in music. *The Psychology of Music*, 473–500. <https://doi.org/10.1016/b978-012213564-4/50014-7>
- Das, S., Gandhi, A., & Mondal, S. (1997). Effect of premenstrual stress on audiovisual reaction time and audiogram. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 41(1), 67–70.
- del Olmo, M., & Cudeiro, J. (2005). Temporal variability of gait in Parkinson disease: effects of a rehabilitation programme based on rhythmic sound cues. *Parkinsonism & Related Disorders*, 11(1), 25–33. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2004.09.002>
- Dickstein, R., & Plax, M. (2012). Metronome rate and walking foot contact time in young adults. *Perceptual and Motor Skills*, 21–28. <https://doi.org/10.2466/15.25.PMS.114.1.21-28>
- Djuric-jovicic, M., & Jecmenica-lukic, M. (2016). Finger and foot tapping sensor system for objective motor assessment. *Vojnosanitetski Pregled*. <https://doi.org/10.2298/VSP150502323D>
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2007). *Psychoacoustics: Facts and models (3rd ed.)*. Espoo, Finland: Springer.
- Fendrich, R., & Corballis, P. M. (2001). The temporal cross-capture of audition and vision. *Perception & Psychophysics*, 63(4), 719–725. <https://doi.org/10.3758/BF03194432>
- Freeman, J. S., Cody, F. W. J., & Schady, W. (1993). The influence of external timing cues upon the rhythm of voluntary movements in Parkinson's disease. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 56(10), 1078–1084. <https://doi.org/10.1136/jnnp.56.10.1078>
- Freeman, T., Leung, J., Wufong, E., Orchard-Mills, E., Carlile, S., & Alais, D. (2014). Discrimination contours for moving sounds reveal duration and distance cues dominate auditory speed perception. *Plos One*, 9(7), 27–29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0102864>
- Gandhi, P. H., Gokhale, P. A., Mehta, H. B., & Shah, C. J. (2013). A comparative study of simple auditory reaction time in blind (congenitally) and sighted subjects. 35(3), 273–278. <https://doi.org/10.4103/0253-7176.119486>
- Gaver, W. W. (1993). How do we hear

- in the world? explorations in ecological acoustics. *Ecological Psychology*, 5(4), 285–313 <https://doi.org/10.1207/s15326969eco0504>
- Giovannoni, G., Van Schalkwyk, J., Fritz, V. U., & Lees, A. J. (1999). Bradykinesia akinesia inco-ordination test (brain test): an objective computerised assessment of upper limb motor function. *Journal of Neurology Neurosurgery and Psychiatry*, 67(5), 624–629. <https://doi.org/10.1136/jnnp.67.5.624>
- Gori, M., Amadeo, M. B., & Campus, C. (2018). Temporal cues influence space estimations in visually impaired individuals. *IScience*, 6, 319–326. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2018.07.003>
- Gougoux, F., Zatorre, R. J., Lassonde, M., Voss, P., & Lepore, F. (2005). A functional neuroimaging study of sound localization: visual cortex activity predicts performance in early-blind individuals. *Plos Biology*, 3(2), 0324–0333. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030027>
- Gunzler, S. A., Pavel, M., Koudelka, C., Carlson, N. E., & Nutt, J. G. (2009). Foot-tapping rate as an objective outcome measure for Parkinson disease clinical trials. *Clinical Neuropharmacology*, 32(2), 97–102. <https://doi.org/10.1097/WNF.0b013e3181684c22>
- Guttman, S. E., Gilroy, L. A., & Blake, R. (2005). Hearing what the eyes see: auditory encoding of visual temporal sequences. *Psychological Science*, 16(3), 228–235. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00808.x>
- Hausdorff, J. M., Lowenthal, J., Herman, T., Gruendlinger, L., Peretz, C., & Giladi, N. (2007). Rhythmic auditory stimulation modulates gait variability in Parkinson's disease. *European Journal of Neuroscience*, 26(8), 2369–2375. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2007.05810.x>
- Heller, A., Wade, D. T., Wood, V. A., Sunderland, A., Hower, R. L., & Ward, E. (1987). Arm function after stroke: Measurement and recovery over the first three months. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 50(6), 714–719. <https://doi.org/10.1136/jnnp.50.6.714>
- Hötting, K., & Röder, B. (2009). Auditory and auditory-tactile processing in congenitally blind humans. *Hearing Research*, 258(1–2), 165–174. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2009.07.012>
- Jochymczyk, K., Nowakowska, K., Michnik, R., Gzik, M., & Kowalczykowski, D. (2019). Three-dimensional adults gait pattern – reference data for healthy adults aged between 20 and 24. *Innovations in Biomedical Engineering*, 1, 169–176. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15472-1_19
- Justus, T. C., & Bharucha, J. J. (2002). Music perception and cognition. *Stevens' Handbook of Experimental Psychology* (3rd ed., pp. 453–492). <https://doi.org/10.1002/0471214426.pas0111>
- Kinsler, L., Frey, A., Coppens, A., & Sanders, J. (2000). Fundamentals of

- acoustics. *Fundamentals of Acoustics*.
https://www.academia.edu/37532940/Fundamentals_of_Acoustics_L_Kinsler
- Ko, B., Lee, H., & Song, W. (2016). Rhythmic auditory stimulation using a portable smart device: short-term effects on gait in chronic hemiplegic stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 28 (5), 1538–1543. doi: 10.1589/jpts.28.1538
- Kolarik, A. J., Pardhan, S., Cirstea, S., & Moore, B. C. J. (2013). Using acoustic information to perceive room size: effects of blindness, room reverberation time, and stimulus. *Perception*, 42(9), 985–990. <https://doi.org/10.1068/p7555>
- Lahav, O., & Mioduser, D. (2005). Blind persons' acquisition of spatial cognitive mapping and orientation skills supported by virtual environment blind persons' acquisition of spatial cognitive mapping and orientation skills supported by virtual environment. *International Journal on Disability and Human Development*, 4(3), 231–238.
<https://doi.org/10.1515/IJDHD.2005.4.3.231>
- Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., Noorden, L. Van, & Martens, J. (2013). Activating and relaxing music entrains the speed of beat synchronized walking. *Plos One*, 8(7).
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067932>
- Lessard, N., Pare, M., Lepore, F., & Lassonde, M. (1998). Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. *Nature*, 395(6699), 278–280. <https://doi.org/doi:10.1038/26228>
- Levitin, D. J. (2006). This is your brain on music: The Science of a Human Obsession (1st ed.). New York, USA: Penguin Group (USA) Inc.
- Ling, S., Sanny, J., & Moebs, W. (2016). University Physics Volume 1. Houston, USA: OpenStax.
- Mateeffh, S., Hohnsbein, J., & Noack, T. (1985). Dynamic visual capture : apparent auditory motion induced by a moving visual target. *Perception*, 14(6), 721–727. <https://doi.org/10.1068/p140721>
- McDermott, J. H., & Oxenham, A. J. (2009). Music perception, pitch, and the auditory system. *Current Opinion in Neurobiology*, 18(4), 452–463.
<https://doi.org/10.1016/j.conb.2008.09.005>
- Minino, R., Troisi Lopez, E., Sorrentino, P., Rucco, R., Lardone, A., Pesoli, M., Tafuri, D., Mandolesi, L., Sorrentino, G., & Liparoti, M. (2021). The effects of different frequencies of rhythmic acoustic stimulation on gait stability in healthy elderly individuals: a pilot study. *Scientific Reports*, 11(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98953-2>
- Moldoveanu, A., Moldoveanu, F., & Butean, A. (2015). Auditory and haptic saptial cognitive representation in the case of the visually impaired people. *Journal of Information Systems & Operations Management*, 8(1), 1–11.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:4838515>
- Moore, B. (2013). An Introduction to the Psychology of Hearing (6th edition). Cambridge, United Kingdom: Emerald Group Publishing Limited

- Murgia, M. (2018). The use of footstep sounds as rhythmic auditory stimulation for gait rehabilitation in Parkinson's disease: a randomized controlled. *Frontiers in Neurology*, 9, 1–13. <https://www.frontiersin.org/journal/s/neurology/articles/10.3389/fneur.2018.00348>
- Notermans, N. C., Van Dijk, G. W., Van Der Graaf, Y., Van Gijn, J., & Wokke, J. H. J. (1994). Measuring ataxia: quantification based on the standard neurological examination. *Neurosurgery, and Psychiatry*, 57, 22–26. doi: 10.1136/jnnp.57.1.22.
- Nowakowska-Lipiec, K., Michnik, R., Niedzwied, S., Ma, A., Twardawa, P., Turner, B., Romaniszyn-kania, P., & Danecka, A. (2021). Effect of short-term metronomic-rhythmic stimulations on gait variability. *Healthcare*, 9(2), 174. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020174>
- Ott, B., Elias, S., & Lannon, M. (1995). Quantitative assessment of movement in Alzheimer's disease. *Journal of Geriatric Psychiatry and Neurology*, 8(1), 71–75. <https://psycnet.apa.org/record/1995-30014-001>
- Pantaleone, J. (2002). Synchronization of metronomes. *American Journal of Physics*, 70(10), 992–1000. <https://doi.org/10.1119/1.1501118>
- Papadopoulos, K., Papadimitriou, K., & Koutsoklenis, A. (2012). The role of auditory cues in the spatial knowledge of blind individuals. *International Journal of Special Education*, 27(2), 1–12. https://www.researchgate.net/publication/232221279_The_role_of_sound_cues_in_the_spatial_knowledge_of_blind_individuals
- Patel, A. D. (2008). Music, Language, and the Brain. New York, USA: Oxford Academic <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195123753.001.0001>
- Patterson, R. D., Robinson, K., Holdsworth, J., McKeown, D., Zhang, C., & Allerhand, M. (1992). Complex sounds and auditory images. *Auditory Physiology and Perception*, 429–446. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-041847-6.50054-x>
- Pick, H., Warren, D., & Hay, J. (1969). Sensory conflict in judgments of spatial direction. *Perception & Psychophysics*, 6, 203–205. <https://doi.org/10.3758/BF03207017>
- Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin and Review*, 12(6), 969–992. <https://doi.org/10.3758/BF03206433>
- Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research*, 68(4), 252–270. <https://doi.org/10.1007/s00426-003-0143-8>
- Repp, B. H., & Su, Y. H. (2013). Sensorimotor synchronization: A review of recent research. *Psychonomic Bulletin and Review*, 20(3), 403–452. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
- Röder, B., Teder-Sälejärvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S. A., & Neville, H. J. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, 400(6740), 162–166. <https://doi.org/10.1038/22106>
- Roerdink, M., Bank, P. J. M., Peper, C. E., & Beek, P. J. (2011). Gait &

- posture walking to the beat of different drums : practical implications for the use of acoustic rhythms in gait rehabilitation. *Gait & Posture*, 33(4), 690–694. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2011.03.001>
- Rose, D., Delevoeye-Turrell, Y., Ott, L., Annett, L. E., & Lovatt, P. J. (2019). Music and metronomes differentially impact motor timing in people with and without Parkinson's disease: effects of slow, medium, and fast tempi on entrainment and synchronization performances in finger tapping, toe tapping, and stepping on the spot tasks. *Parkinson's Disease*, 1–18. <https://doi.org/10.1155/2019/6530838>
- Rubinstein, T. C., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2002). The power of cueing to circumvent dopamine deficits: a review of physical therapy treatment of gait disturbances in Parkinson's disease. *Movement disorders : official journal of the Movement Disorder Society*, 17(6), 1148–1160. <https://doi.org/10.1002/mds.10259>
- Schreiber, C., Remacle, A., Chantraine, F., Kolanowski, E., & Moissenet, F. (2016). Gait & posture influence of a rhythmic auditory stimulation on asymptomatic gait. *Gait & Posture*, 50, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.07.319>
- Shahraki, M., Sohrabi, M., & Torbati, T. (2017). Effect of rhythmic auditory stimulation on gait kinematic parameters of patients with multiple sclerosis. *Journal of Medicine and Life*, 10(1), 33–37. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5304368/>
- Shenvi, D., & Balasubramanian, P. (1994). A comparative study of visual and auditory reaction times in males and females. *Indian Journal of Physiology and Pharmacology*, 38(3), 229–231. https://www.ijpp.com/IJPParchives/1994_38_3/229-232.pdf
- Stekelenburg, J. J., & Vroomen, J. (2009). Neural correlates of audiovisual motion capture. *Experimental Brain Research*, 383–390. <https://doi.org/10.1007/s00221-009-1763-z>
- Stergiou, N., Harbourne, R. T., & Cavanaugh, J. T. (2006). Optimal movement variability. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 30(3), 120–129. <https://doi.org/10.1097/01.npt.0000281949.48193.d9>
- Styns, F., van Noorden, L., Moelants, D., & Leman, M. (2007). Walking on music. *Human Movement Science*, 26(5), 769–785. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2007.07.007>
- Tanigawa, M., Stein, J., Park, J., Kosa, P., Cortese, I., & Bielekova, B. (2017). Finger and foot tapping as alternative outcomes of upper and lower extremity function in multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis Journal - Experimental, Translational and Clinical*, 3(1). <https://doi.org/10.1177/2055217316688930>
- Teichner, W. H. (1954). Recent Studies of Simple Reaction Time. *Psychological Bulletin*, 51(2), 128–149. <https://doi.org/10.1037/h0060900>
- Terrier, P., & Dériaz, O. (2012). Persistent and anti-persistent pattern in stride-to-stride variability

- of treadmill walking : Influence of rhythmic auditory cueing. *Human Movement Science*, 31(6), 1585–1597.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2012.05.004>
- Thaut, M., & Abiru, M. (2010). Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: A review of current research. *Music Perception*, 27(4), 263–270.
<https://doi.org/doi:10.1525/mp.2010.27.4.263>
- Thaut, M. H. (2005). *Rhythm, Music and the Brain: scientific foundations and clinical applications* (1st edition). New York, USA: Routledge
<https://doi.org/10.4324/9780203958827>
- Thaut, M., McIntosh, C., Rice, R., Miller, R., Rathbun, J., & Brault, J. (1996). Rhythmic auditory stimulation in gait training for Parkinson ' s disease patients. *Movement Disorders*, 11(2), 193–200.
<https://doi.org/10.1002/mds.870110213>
- Thaut, M., McIntosh, G., & Hoemberg, V. (2015). Neurobiological foundations of neurologic music therapy: rhythmic entrainment and the motor system. *Frontiers in Psychology*, 5(February), 1–6.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01185>
- Thaut, M., Miller, R., & Schauer, L. (1998). Multiple synchronization strategies in rhythmic sensorimotor tasks: Phase vs period correction. *Biological Cybernetics*, 79(3), 241–250.
<https://doi.org/10.1007/s004220050474>
- Van Der Lubbe, R. H. J., Van Mierlo, C. M., & Postma, A. (2010). The involvement of occipital cortex in the early blind in auditory and tactile duration discrimination tasks. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(7), 1541–1556.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21285>
- Vercillo, T., Burr, D., & Gori, M. (2016). Early visual deprivation severely compromises the auditory sense of space in congenitally blind children. *Developmental Psychology*, 52(6), 847–853.
<https://doi.org/10.1037/dev0000103>
- Voss, P., Lassonde, M., Gougoux, F., Fortin, M., Guillemort, J., & Lepore, F. (2004). Early- and late-onset blind individuals show supra-normal auditory abilities in far-space. *Current Biology*, 14(19), 1734–1738.
<https://doi.org/10.1016/j.cub.2004.09.051>
- Weeks, R., Horwitz, B., Aziz-Sultan, A., Tian, B., Wessinger, C. M., Cohen, L. G., Hallett, M., & Rauschecker, J. P. (2000). A positron emission tomographic study of auditory localization in the congenitally blind. *Journal of Neuroscience*, 20(7), 2664–2672.
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.2007-02664.2000>
- Willems, A. M., Nieuwboer, A., Chavret, F., Desloovere, K., Dom, R., Rochester, L., Jones, D., Kwakkel, G., & Van Wegen, E. (2006). The use of rhythmic auditory cues to influence gait in patients with Parkinson's disease, the differential effect for freezers and non-freezers, an explorative study. *Disability and Rehabilitation*, 28(11), 721–728.

- <https://doi.org/10.1080/09638280500386569>
- Wittwer, J. E., Webster, K. E., & Hill, K. (2013). Music and metronome cues produce different effects on gait spatiotemporal measures but not gait variability in healthy older adults. *Gait & Posture*, 37(2), 219–222.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.07.006>
- Wright, R. L., Bevins, J. W., Pratt, D., Sackley, C. M., & Wing, A. M. (2016). Metronome cueing of walking Reduces gait variability after a cerebellar stroke. *Frontiers in Neurology*, 7, 5–10.
<https://doi.org/10.3389/fneur.2016.00084>
- Yoon, S. K., & Kang, S. H. (2016). Effects of inclined treadmill walking training with rhythmic auditory stimulation on balance and gait in stroke patients. *Journal of Physical Therapy Science*, 28(12), 3367–3370.
<https://doi.org/10.1589/jpts.28.3367>
- Yu, L., Zhang, Q., Hu, C., Huang, Q., Ye, M., & Li, D. (2015). Effects of different frequencies of rhythmic auditory cueing on the stride length , cadence , and gait speed in healthy young females. *Journal of Physical Therapy Science*, 27(2) 485-487.
doi: 10.1589/jpts.27.485.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α. ΕΝΤΥΠΟ ΕΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β. ΕΝΤΥΠΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

ΠΑΡ Β.1. Έντυπο Συγκατάθεση

ΠΑΡ Β.2. Έντυπο ατομικών στοιχείων και ιατρικού ιστορικού

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ. ΜΕΤΑΒΙΒΑΣΗ ΗΧΗΤΙΚΟΥ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΕΓΚΕΦΑΛΟ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ. ΠΙΝΑΚΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ και ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΙΚΤΩΝ

Πίνακας ΠΑΡ Δ-1.-Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

Πίνακας ΠΑΡ Δ-2- Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού, για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

Πίνακας ΠΑΡ Δ-3 - Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) (εκατοστιαίες μονάδες) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

Πίνακας ΠΑΡ Δ-4. - Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων κίνησης των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού για όλες τις συνθήκες ΑΕ και ΡΤ. ΑΕ: ακουστικό ερέθισμα, ΡΤ: ρυθμική ταχύτητα, Π: φυσική προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Α: αργή προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Γ: γρήγορη προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης

Πίνακας ΠΑΡ Δ-5. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για την επίδραση του ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(ΡΤ) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.

Πίνακας ΠΑΡ Δ-6. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(ΡΤ) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στη μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ-ΒΙΟΗΘΙΚΗΣ

Δάφνη, Τρίτη, 16 Ιανουαρίου 2024

Αριθμός πρωτοκόλλου έγκρισης: 1605/16-01-2024

Αγαπητή κυρία Ρουσάνογλου,

Η εσωτερική Επιτροπή Ερευνητικής Δεοντολογίας-Βιοηθικής της Σχολής Επιστήμης Φυσικής Αγωγής και Αθλητισμού, στη συνεδρίασή της στις 16-01-2024 εξέτασε την αίτησή σας από 16-01-2024, με τίτλο "Επίδραση ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας στο χρονικό πρότυπο περιοδικής κίνησης σε άτομα μη τυπικής οπτικής οξύτητας," και αποφάσισε ότι η μελέτη εγκρίνεται ως έχει.

Ο συντονιστής της Επιτροπής

*

Γρηγόρης Μπογδάνης,

Καθηγητής ΣΕΦΑΑ, ΕΚΠΑ

*Η υπογραφή έχει τεθεί επί του πρωτοτύπου που τηρείται στη Γραμματεία της Επιτροπής

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΠΑΡ Β.1. Έντυπο Συγκατάθεσης

Έντυπο Συγκατάθεσης - Συμμετοχής σε Ερευνητική Εργασία με Τίτλο:

«ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΥ ΕΡΕΘΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΧΩΡΟ – ΧΡΟΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΥΠΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΡΥΘΜΙΚΕΣ ΤΑΧΥΤΗΤΕΣ»

Η έρευνα γίνεται υπό την επιστημονική ευθύνη και επίβλεψη της Καθηγήτριας Αθλητικής Βιο-μηχανικής κας. Ρουσάνογλου Ελισσάβετ (erousan@phed.uoa.gr) **Α) Σκοπός της έρευνας**

Σκοπός της παρούσας μελέτης είναι η διερεύνηση της επίδρασης του ακουστικού ερεθίσματος σε χώρο-χρονικές μεταβλητές της κίνησης αλλά και στη συνολική μεταβλητότητα της σε άτομα με περιορισμούς όρασης και σε άτομα με φυσιολογική όραση.

Β) Διαδικασία μέτρησης

α) Αξιολόγηση ακοής μέσω της εφαρμογής Hearing Test.

β) Τοποθέτηση αισθητήρων κρούσης και επιταχυνσιόμετρου.

γ) Συγχρονισμένη συλλογή δεδομένων,

της κρούσης, της επιτάχυνσης και του μετρονόμου μέσω:

- αισθητήρα κρούσης (Bionomadix Strike- BN-STRIKE-XDCR, Biopac),
- επιταχυνσιόμετρου (Bionomadix Accelerometer-BN-ACCL3, Biopac),
- καλωδίου διασύνδεσης που θα προστεθεί στον φορητό υπολογιστή που θα αναπαράγει τον ήχο.

δ) Κάθε συμμετέχοντας/ουσα θα κληθεί να πραγματοποιήσει τρεις έγκυρες προσπάθειες για κάθε συνθήκη ακουστικού ερεθίσματος και ρυθμικής ταχύτητας με διάρκεια προσπάθειας 40 δευτερολέπτων. Τα χέρια θα είναι σταθερά τοποθετημένα στη μέση και το επιλεγμένο κάτω άκρο θα εκτελεί επιτόπιες κρούσεις. Καθ' όλη τη διάρκεια της προσπάθειας, οι συμμετέχοντες θα έχουν δεμένα τα μάτια τους με ένα μαύρο ύφασμα για να διασφαλισθεί το ίδιο επίπεδο μη όρασης για όλους.

ε) Θα πραγματοποιηθούν δύο έως τρεις δοκιμαστικές προσπάθειες διάρκειας 10 δευτερολέπτων με 2 λεπτά διάλειμμα πριν από κάθε προσπάθεια και 5 λεπτά διάλειμμα πριν την κύρια μέτρηση.

στ) Μεταξύ των προσπαθειών θα υπάρξει διάλειμμα 2 λεπτών, μεταξύ των ρυθμικών ταχυτήτων θα υπάρξει διάλειμμα 3 λεπτών και τέλος μεταξύ των συνθηκών ακουστικού ερεθίσματος θα υπάρξει διάλειμμα 5 λεπτών. Σε κάθε περίπτωση θα δίνεται επιπλέον χρόνος ανάπαυσης εάν αυτός ζητηθεί από τους δοκιμαζόμενους με καταγραφή της διάρκειας αυτού.

Γ) Ενδεχόμενοι κίνδυνοι:

Αυτή η μελέτη δεν περιλαμβάνει κινδύνους.

Δ) Οφέλη:

Η συμμετοχή σας στην έρευνα είναι εθελοντική και δεν θα υπάρξουν προσωπικά οφέλη.

Ε) Δημοσίευση δεδομένων – αποτελεσμάτων

Η συμμετοχή σας στην έρευνα συνεπάγεται ότι συμφωνείτε με την μελλοντική δημοσίευση των ερευνητικών αποτελεσμάτων(διαλέξεις, μαθήματα, συνέδρια, ημερίδες επιστημονικού ή εκπαιδευτικού χαρακτήρα), με την προϋπόθεση ότι οι πληροφορίες θα είναι ανώνυμες και δε θα αποκαλυφθούν τα ονόματα των συμμετεχόντων. Το υλικό αποθηκεύεται στον προσωπικό μου υπολογιστή. Στα δεδομένα έχουν πρόσβαση αποκλειστικά η κύρια ερευνήτρια και η επιβλέπουσα της πτυχιακής εργασίας. Τα δεδομένα δεν παρουσιάζονται με το πλήρες ονοματεπώνυμο αυτών αλλά με κωδικοποίηση της μορφής S01, S02 κλπ όπου S το αρχικό της λέξης Subject. Διευκρινίζεται ότι η προβολή σε παρουσίαση ή συμπερίληψη σε κείμενο φωτογραφιών ή και αποσπασμάτων/στιγμιότυπων εικονοσκόπησης) θα γίνει τηρώντας την αρχή της ανωνυμίας, με απόκρυψη του προσώπου τους ΚΑΙ των προσωπικών τους στοιχείων.

ΣΤ) Ελευθερία συναίνεσης:

Η συμμετοχή σου στην παρούσα έρευνα είναι εντελώς εθελοντική με σκοπό να βοηθήσει στη συλλογή πληροφοριών για την παραγωγή καινούριας γνώσης. Είστε ελεύθερος-η να μην συναινέσετε ή να αποσύρετε τη συμμετοχή σας και να αποχωρήσετε, σε οποιοδήποτε στάδιο των μετρήσεων, χωρίς να χρειαστεί να δικαιολογήσεις την απόφαση σου.

Ζ) Πληροφορίες:

Μη διστάσετε να κάνετε ερωτήσεις για οτιδήποτε αφορά το σκοπό και τη διαδικασία της έρευνας. Για οποιαδήποτε αμφιβολία μπορείτε να απευθυνθείτε στη κύρια ερευνήτρια, είτε στην επιβλέπουσα καθηγήτρια.

Η).Δήλωση συναίνεσης:

Λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω, δηλώνω υπεύθυνα ότι συμμετέχω με την βούληση μου στη συγκεκριμένη προπτυχιακή ερευνητική εργασία και αποδέχομαι να συμμετάσχω στις δοκιμασίες που προβλέπονται από το πρωτόκολλο της έρευνας.

Ημερομηνία.....

Ονοματεπώνυμο και υπογραφή συμμετέχοντα/ουσας:

.....

Υπογραφή υπεύθυνη έρευνας

.....

.....

ΠΑΡ Β.2. Έντυπο ατομικών στοιχείων και ιατρικού ιστορικού δοκιμαζομένων

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΑΖΟΜΕΝΟΥ/ΗΣ -ΙΑΤΡΙΚΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ημερομηνία μέτρησης.....Βοηθός μέτρησης:.....

Στοιχεία δοκιμαζόμενου/ης:

Ονοματεπώνυμο:.....Κωδικός.....

Τηλέφωνο επικοινωνίας:.....

e-mail:.....

Ημερομηνία γέννησης:.....

Ανάστημα(m):.....

Σωματική μάζα(kg):.....

Ιατρικό ιστορικό δοκιμαζόμενου/ης:

Παθολογικές παθήσεις:.....

Μυοσκελετικές παθήσεις:.....

Νευρολογικές παθήσεις:.....

Οφθαλμικές παθήσεις:.....

Παθήσεις του ακουστικού συστήματος:.....

Διαταραχές του αιθουσαίου συστήματος:.....

Πρόσφατος μυοσκελετικός τραυματισμός:.....

Αναφερόμενη αίσθηση αστάθειας σε κάποια άρθρωση:.....

**Υπάρχει ρητή δέσμευση μη δημοσιοποίησης του ιστορικού σε τρίτα πρόσωπα πέραν της επιβλέπουσας καθηγήτριας Ελισσάβετ Ρουσάνογλου και της κύριας ερευνήτριας Κολλιοπούλου Χριστίνα*

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Γ.1. Μεταβίβαση ηχητικού ερεθίσματος στον ανθρώπινο εγκέφαλο

Από τη στιγμή που ένα ηχητικό κύμα θα φτάσει στο ανθρώπινο αυτί έως ότου το ερέθισμα μεταβιβασθεί στον εγκέφαλο, μια σειρά από πολύπλοκες διαδικασίες λαμβάνουν χώρα (Widmaier, Raff & Strang, 2001). Πιο συγκεκριμένα, το πρώτο στάδιο κατά τη διαδικασία της ακουστικής επεξεργασίας περιλαμβάνει τον κοχλία, ο οποίος, αποσυνθέτει το εισερχόμενο ηχητικό κύμα, σε ηλεκτρικά σήματα με διακριτές ζώνες συχνοτήτων, δημιουργώντας μια δομή περιορισμένης συχνότητας που παραμένει σε όλα τα κέντρα της ακουστικής επεξεργασίας (Widmaier et al., 2001).

Οι ανατομικές δομές του ακουστικού συστήματος μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια, δηλαδή τον ήχο, σε δυναμικά ενέργειας, τα οποία μεταδίδονται στο εγκεφαλικό στέλεχος και στον εγκεφαλικό φλοιό (Widmaier et al., 2001). Η μετατροπή των ηχητικών κυμάτων σε ηλεκτρικά σήματα, γίνεται μέσω του έσω ωτός. Σε συνέχεια, προσαγωγές νευρικές ίνες μεταφέρονται στο κεντρικό σύστημα, μέσω ινών, οι οποίες δημιουργούν συνάψεις με τους κοχλιακούς πυρήνες. Από το σημείο των κοχλιακών πυρήνων ξεκινά μια πολυσυναπτική οδός, η οποία καταλήγει στον πρωτοταγή ακουστικό φλοιό, στη πρόσθια εγκάρσια έλικα του Heschl του κροταφικού λοβού (Widmaier et al., 2001).

Οι υποδοχείς του ακουστικού συστήματος βρίσκονται στο αυτί, το οποίο υποδιαιρείται σε τρία μέρη (Widmaier et al., 2001):

α) Το έξω ους, το οποίο αποτελείται από το πτερύγιο, που συλλέγει τα ηχητικά κύματα και τα κατευθύνει στον έξω ακουστικό πόρο.

β) Το μέσο ους (ή τυμπανική κοιλότητα), που περιέχει τον τυμπανικό υμένα και τα ακουστικά οστάρια, που μετατρέπουν τα ηχητικά κύματα σε κινήσεις της έσω λέμφου του κοχλία.

γ) Το έσω ους ή λαβύρινθος, που αποτελείται από μια σειρά υμενωδών σωλήνων και κοιλοτήτων γεμάτων με υγρό και βρίσκεται στο κροταφικό οστό. Ο υμενώδης λαβύρινθος υποδιαιρείται περαιτέρω σε κοχλιακή και αιθουσαία μοίρα. Στον κοχλία εντοπίζονται οι υποδοχείς του ήχου, ενώ οι υποδοχείς της αιθουσαίας συσκευής βρίσκονται στην αιθουσαία μοίρα.

Το ους μετατρέπει τα ηχητικά κύματα του εξωτερικού περιβάλλοντος σε δυναμικά ενέργειας των κοχλιακών νευρών (Widmaier et al., 2001). Τα ηχητικά κύματα που εισέρχονται στον έξω ακουστικό πόρο, προκαλούν δονήσεις του τυμπανικού υμένα. Αυτές οι δονήσεις μεταφέρονται στα ακουστικά οστάρια του μέσου ωτός, τα οποία μεγεθύνουν και μετατρέπουν τις κινήσεις του τυμπανικού υμένα σε ισχυρές δονήσεις της βάσης του αναβολέα. Η κίνηση του αναβολέα, με τη σειρά της, προκαλεί κύματα πίεσης στην έξω λέμφο της αιθουσαίας μοίρας. Τα κύματα αυτά, μεταδίδονται μέσω του αιθουσαίου υμένα στην έσω λέμφο του κοχλία. Αυτό προκαλεί μετατόπιση του βασικού υμένα, που ερεθίζει τα τριχωτά κύτταρα του οργάνου του Corti. Η κίνηση των κυττάρων αυτών, παράγει ηλεκτροτονικά δυναμικά, τα οποία μετατρέπονται σε δυναμικά ενέργειας των νευρικών ινών του κοχλιακού νεύρου, τα οποία τέλος φτάνουν μέσω της ακουστικής οδού στον ακουστικό φλοιό του εγκεφάλου (Widmaier et al., 2001).

Τα νευρικά ερεθίσματα (τα οποία έχουν προέλθει από το ακουστικό ερέθισμα) διαδίδονται από τα ακουστικά νεύρα στον εγκεφαλικό θάλαμο (Widmaier et al., 2001). Η διέγερση του θαλάμου, ενεργοποιεί τον εγκεφαλικό φλοιό, ο οποίος εκπέμπει ερεθίσματα στον υποθάλαμο και στις υπόλοιπες εγκεφαλικές περιοχές. Με την ενεργοποίηση του εγκεφαλικού φλοιού δημιουργείται μια συνεχόμενη σειρά δονήσεων σε όλη τη διάρκεια της μουσικής ακρόασης. Ο θάλαμος, ο υποθάλαμος, η παρεγκεφαλίδα και τα εγκεφαλικά ημισφαίρια, έχουν ενεργό ρόλο στην επεξεργασία των μουσικών τόνων, μετατρέποντας τους σε μουσικά πρότυπα και προσδίδοντας τους συναισθηματικό νόημα (Widmaier et al., 2001).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ

Πίνακας ΠΑΡ Δ-1.-Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

Μέγεθος μεταβλητών	ΡΤ	ΤΥΠΙΚΗ		ΜΗ ΤΥΠΙΚΗ		p value		
		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ		ΑΕ	ΡΤ	ΟΟ
		Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ			
Μέγιστη Γραμμική Επιτάχυνση (m/s ²)	Π	78.15 $\pm$ 31.99 (40.9%)	92.72 $\pm$ 23.03 (24.8%)	87.24 $\pm$ 31.91 (36.6%)	91.39 $\pm$ 32.92 (36.1%)			
	Α	84.02 $\pm$ 32.39 (38.55%)	93.04 $\pm$ 30.54 (32.8%)	91.82 $\pm$ 37.04 (40.3%)	97.23 $\pm$ 34.23 (35.2%)	.237 ns	.005 **	.609 ns
	Γ	96.36 $\pm$ 24.71 (25.6%)	93.08 $\pm$ 17.65 (19.0%)	103.88 $\pm$ 37.58 (36.2%)	96.89 $\pm$ 33.48 (34.6%)			
Ρυθμός Μεταβολής Επιτάχυνσης (m/s ³)	Π	379.2 $\pm$ 189.5 (49.9%)	476.3 $\pm$ 206 (43.3%)	586.9 $\pm$ 594.7 (101.32%)	490.5 $\pm$ 270.1 (55.1%)			
	Α	213.6 $\pm$ 132.6 (62.1%)	289.5 $\pm$ 161 (55.6%)	192.6 $\pm$ 141.4 (73.4%)	211.5 $\pm$ 110 (52.0%)	.832 ns	<.001 ***	.361 ns
	Γ	694.2 $\pm$ 298.4 (43.0%)	723.8 $\pm$ 211.0 (29.2%)	899.7 $\pm$ 342.4 (38.1%)	811.2 $\pm$ 79.8 (34.5%)			
Διάρκεια Κύκλου Κίνησης (s)	Π	0.71 $\pm$ 0.50 (70.4%)	0.69 $\pm$ 0.45 (65.2%)	0.65 $\pm$ 0.37 (56.9%)	0.61 $\pm$ 0.24 (39.3%)			
	Α	1.29 $\pm$ 0.59 (45.7%)	1.20 $\pm$ 0.60 (50.0%)	1.76 $\pm$ 0.82 (46.6%)	1.55 $\pm$ 0.66 (42.6%)	.006 **	<.001* **	.421 ns
	Γ	0.36 $\pm$ 0.08 (22.2%)	0.37 $\pm$ 0.08 (21.6%)	0.30 $\pm$ 0.07 (23.3%)	0.33 $\pm$ 0.07 (21.2%)			

Σημαντική επίδραση: *p $\leq$.05, **p $\leq$.01, ***p $\leq$.001, ns μη σημαντική επίδραση

Πίνακας ΠΑΡ Δ-2- Μέγεθος Μεταβλητών. Μέση τιμή, τυπική απόκλιση ($\pm$) και συντελεστής μεταβλητότητας CV(%) των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού, για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (ΡΤ) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

Μέγεθος μεταβλητών	ΡΤ	ΤΥΠΙΚΗ		ΜΗ ΤΥΠΙΚΗ		p values		
		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ		ΑΕ	ΡΤ	ΟΟ
		Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ			
tdiff Επιτάχυνσης Κρούσης (s)	Π	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.02 $\pm$ 0.007 (35%)	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)			
	Α	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.02 $\pm$ 0.019 (95%)	0.02 $\pm$ 0.015 (75%)	.764 ns	.246 ns	.428 ns
	Γ	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.02 $\pm$ 0.006 (30%)	0.01 $\pm$ 0.005 (50%)	0.01 $\pm$ 0.004 (40%)			
tdiff Επιτάχυνσης Μετρονόμου (s)	Π	Μη εφαρμόσιμο	0.03 $\pm$ 0.015 (50%)	Μη εφαρμόσιμο	0.03 $\pm$ 0.011 (36.66%)			
	Α	Μη εφαρμόσιμο	0.04 $\pm$ 0.02 (50%)	Μη εφαρμόσιμο	0.07 $\pm$ 0.039 (55.71%)	-	<.001 ***	.008 **
	Γ	Μη εφαρμόσιμο	0.03 $\pm$ 0.016 (53.33%)	Μη εφαρμόσιμο	0.03 $\pm$ 0.019 (63.33%)			
tdiff Κρούσης Μετρονόμου (s)	Π	Μη εφαρμόσιμο	0.04 $\pm$ 0.01 (25%)	Μη εφαρμόσιμο	0.03 $\pm$ 0.013 (43.33%)			
	Α	Μη εφαρμόσιμο	0.04 $\pm$ 0.02 (50%)	Μη εφαρμόσιμο	0.07 $\pm$ 0.037 (52.85%)	-	<.001 ***	0.030 *
	Γ	Μη εφαρμόσιμο	0.04 $\pm$ 0.01 (25%)	Μη εφαρμόσιμο	0.04 $\pm$ 0.019 (47.5%)			

Σημαντική επίδραση: *p $\leq$.05, **p $\leq$.01, ***p $\leq$.001, ns μη σημαντική επίδραση

Πίνακας ΠΑΡ Δ-3 - Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) (εκατοστιαίες μονάδες) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων για τις συνθήκες ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), ρυθμικής ταχύτητας (PT) και οπτικής οξύτητας (ΟΟ).

CVind (%)	PT	ΤΥΠΙΚΗ		ΜΗ ΤΥΠΙΚΗ		p values		
		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	ΑΕ	PT	ΟΟ
Μέγιστη Γραμμική Επιτάχυνση	Π	9.41 $\pm$ 4.37	8.79 $\pm$ 5.91	11.72 $\pm$ 7.22	13.29 $\pm$ 12.50			
	A	6.70 $\pm$ 3.89	4.36 $\pm$ 3.90	9.24 $\pm$ 6.81	9.68 $\pm$ 8.34	.094 ns	.072 ns	.048 *
	Γ	10.33 $\pm$.15	6.99 $\pm$ 5.84	12.88 $\pm$ 11.75	7.81 $\pm$ 6.30			
Ρυθμός Μεταβολής Επιτάχυνσης	Π	9.40 $\pm$ 3.49	8.81 $\pm$ 6.22	16.65 $\pm$ 25.00	11.17 $\pm$ 8.05			
	A	8.59 $\pm$ 7.40	6.77 $\pm$ 4.90	8.48 $\pm$ 4.12	7.85 $\pm$ 5.61	.162 ns	.127 ns	.195 ns
	Γ	9.62 $\pm$ 7.62	11.08 $\pm$ 5.28	13.61 $\pm$ 11.20	8.74 $\pm$ 5.98			
Διάρκεια Κύκλου Κίνησης	Π	3.88 $\pm$ 2.83	0.68 $\pm$ 0.72	5.32 $\pm$ 2.95	0.46 $\pm$ 0.30			
	A	4.02 $\pm$ 2.23	0.62 $\pm$ 0.36	6.32 $\pm$ 4.14	0.52 $\pm$ 0.28	<.001 ***	.001 ***	.001 ***
	Γ	4.98 $\pm$ 3.59	1.08 $\pm$ 0.81	10.03 $\pm$ 5.80	1.72 $\pm$ 1.53			

Σημαντική επίδραση: *p $\leq$.05, **p $\leq$.01, ***p $\leq$.001, ns μη σημαντική επίδραση

Πίνακας ΠΑΡ Δ-4. - Ατομική Μεταβλητότητα (%CVind). Μέση ατομική τιμή (%) και τυπική απόκλιση ($\pm$) της ατομικής μεταβλητότητας στο σύνολο των 10 εξεταζόμενων κύκλων κίνησης των χρονικών διαφορών (tdiff), ενδείξεων χρονισμού και συγχρονισμού για όλες τις συνθήκες ΑΕ και PT. ΑΕ: ακουστικό ερέθισμα, PT: ρυθμική ταχύτητα, Π: φυσική προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Α: αργή προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης, Γ: γρήγορη προτιμώμενη ρυθμική ταχύτητα κίνησης.

CVind (%)	PT	ΤΥΠΙΚΗ		ΜΗ ΤΥΠΙΚΗ		p values		
		ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	ΟΠΤΙΚΗ ΟΞΥΤΗΤΑ Χωρίς ΑΕ	Με ΑΕ	ΑΕ	PT	ΟΟ
tdiff Επιτάχυνσης Κρούσης (%)	Π	9.49 $\pm$ 6.02	5.09 $\pm$ 2.07	11.41 $\pm$ 7.87	12.97 $\pm$ 7.95			
	A	9.20 $\pm$ 4.79	5.61 $\pm$ 2.66	6.40 $\pm$ 8.89	9.52 $\pm$ 9.39	.080 ns	.330 ns	.002 **
	Γ	6.75 $\pm$ 4.62	5.28 $\pm$ 3.33	13.45 $\pm$ 6.61	10.55 $\pm$ 6.59			
tdiff Επιτάχυνσης Μετρονόμου (%)	Π	Μη εφαρμόσιμο	21.32 $\pm$ 13.82	Μη εφαρμόσιμο	33.50 $\pm$ 22.27			
	A	Μη εφαρμόσιμο	25.37 $\pm$ 16.35	Μη εφαρμόσιμο	26.69 $\pm$ 11.37	-	.034 *	.042 *
	Γ	Μη εφαρμόσιμο	30.63 $\pm$ 18.52	Μη εφαρμόσιμο	43.76 $\pm$ 24.27			
tdiff Κρούσης Μετρονόμου (%)	Π	Μη εφαρμόσιμο	20.67 $\pm$ 14.54	Μη εφαρμόσιμο	47.42 $\pm$ 24.82			
	A	Μη εφαρμόσιμο	25.27 $\pm$ 12.38	Μη εφαρμόσιμο	29.74 $\pm$ 12.60	-	.256 ns	.001 ***
	Γ	Μη εφαρμόσιμο	25.27 $\pm$ 12.33	Μη εφαρμόσιμο	37.98 $\pm$ 20.50			

Σημαντική επίδραση: *p $\leq$.05, **p $\leq$.01, ***p $\leq$.001, ns μη σημαντική επίδραση

Πίνακας ΠΑΡ Δ-5. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για την επίδραση του ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(ΡΤ) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στην ατομική μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.

Μεταβλητές		Κύρια Επίδραση		
		ΑΕ	ΡΤ	ΟΟ
Μέγιστη Γραμμική Επιτάχυνση	Μέγεθος	0.237 ^{ns}	0.005**	0.609 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.094 ^{ns}	0.072 ^{ns}	0.048*
Ρυθμός Μεταβολής Επιτάχυνσης	Μέγεθος	0.832 ^{ns}	<0.001***	0.361 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.162 ^{ns}	0.127 ^{ns}	0.195 ^{ns}
Διάρκεια Κύκλου Κίνησης	Μέγεθος	0.006**	<0.001***	0.421 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	<0.001***	0.001***	0.001***
Χρονική Διαφορά Επιτάχυνσης – Κρούσης	Μέγεθος	0.764 ^{ns}	0.246 ^{ns}	0.428 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.080 ^{ns}	0.330 ^{ns}	0.002**
Χρονική Διαφορά Επιτάχυνσης – Μετρονόμου	Μέγεθος	-	<0.001***	0.008**
	Ατομική Μεταβλητότητα	-	0.034*	0.042*
Χρονική Διαφορά Κρούσης - Μετρονόμου	Μέγεθος	-	<0.001***	0.030*
	Ατομική Μεταβλητότητα	-	0.256 ^{ns}	0.001***

Πίνακας ΠΑΡ Δ-6. Στατιστικός δείκτης σημαντικότητας p από την τρι-παραγοντική ανάλυση διακύμανσης επαναλαμβανομένων μετρήσεων (three-way ANOVA), για τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ ακουστικού ερεθίσματος (ΑΕ), της ρυθμικής ταχύτητας(ΡΤ) και της οπτικής οξύτητας (ΟΟ), στο μέγεθος και στη μεταβλητότητα των εξαρτημένων μεταβλητών.

Μεταβλητές		ΑΕ*ΟΟ	ΡΤ*ΟΟ	ΑΕ*ΡΤ	ΑΕ*ΡΤ*ΟΟ
Μέγιστη Γραμμική Επιτάχυνση	Μέγεθος	0.356 ^{ns}	0.931 ^{ns}	0.005**	0.699 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.552 ^{ns}	0.712 ^{ns}	0.160 ^{ns}	0.613 ^{ns}
Ρυθμός Μεταβολής Επιτάχυνσης	Μέγεθος	0.039*	0.080 ^{ns}	0.360	0.464 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.237 ^{ns}	0.364 ^{ns}	0.865 ^{ns}	0.523 ^{ns}
Διάρκεια Κύκλου Κίνησης	Μέγεθος	0.210 ^{ns}	0.028*	<0.001***	0.194 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.001***	0.071 ^{ns}	0.127 ^{ns}	0.394 ^{ns}
Χρονική Διαφορά Επιτάχυνσης – Κρούσης	Μέγεθος	0.629 ^{ns}	0.245 ^{ns}	0.178 ^{ns}	0.212 ^{ns}
	Ατομική Μεταβλητότητα	0.013*	0.156 ^{ns}	0.515 ^{ns}	0.036*
Χρονική Διαφορά Επιτάχυνσης– Μετρονόμου	Μέγεθος	-	0.015*	-	-
	Ατομική Μεταβλητότητα	-	0.359 ^{ns}	-	-
Χρονική Διαφορά Κρούσης - Μετρονόμου	Μέγεθος	-	0.001***	-	-
	Ατομική Μεταβλητότητα	-	0.027*	-	-