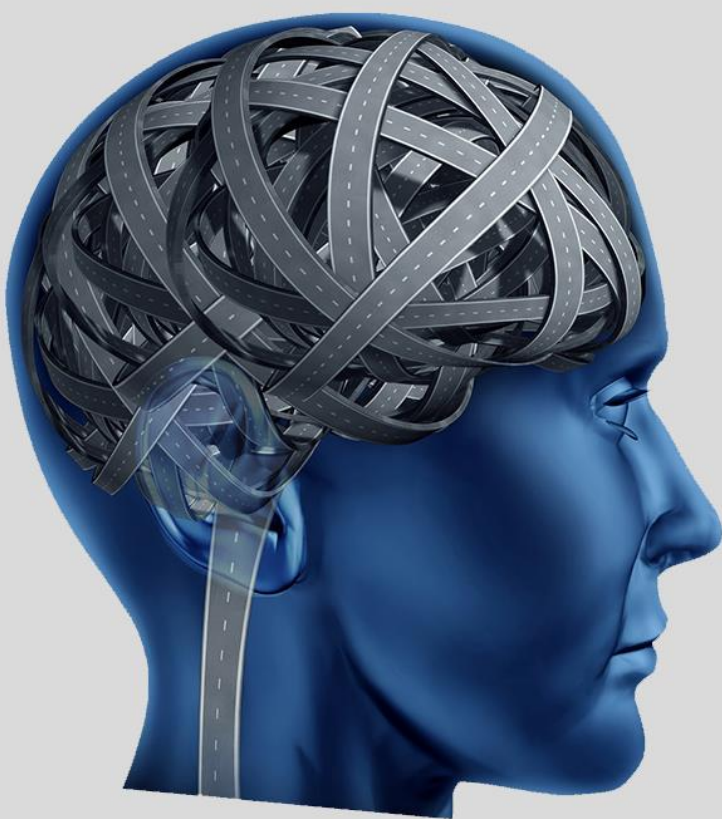




Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής

Συμπεριφορά κυκλοφορίας και ασφάλειας οδηγών με νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες



Διδακτορική Διατριβή του
Δημοσθένη Η. Παύλου

Υποβλήθηκε σε μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για την απονομή του Διδακτορικού

Συμβουλευτική επιτροπή:

Γ. Γιαννής, Καθηγητής ΕΜΠ

Ι. Γκόλιας, Καθηγητής ΕΜΠ

Σ.Γ. Παπαγεωργίου, Αναπληρωτής Καθηγητής, ΕΚΠΑ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2016

Εκτεταμένη Περίληψη

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή αποτελεί μία διεπιστημονική πραγματεία των ερευνητικών πεδίων της κυκλοφοριακής συμπεριφοράς και συμπεριφοράς οδικής ασφάλειας από τη μία, και των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες από την άλλη. Ο στόχος της Διδακτορικής Διατριβής είναι **η ανάλυση της συμπεριφοράς κυκλοφορίας και ασφάλειας οδηγών με νευρολογικές παθήσεις, που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες**. Ειδικότερα, είναι υπό διερεύνηση η επιρροή συγκεκριμένων εγκεφαλικών παθήσεων στην οδηγική επίδοση, στα οδηγικά λάθη, στο χρόνο αντίδρασης και στην πιθανότητα ατυχήματος. Η οδηγική συμπεριφορά εξετάζεται σε όρους κυκλοφορίας και ασφάλειας και οι νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες αφορούν ασθενείς με μεγάλη συχνότητα εμφάνισης στο γενικό πληθυσμό, όπως η Νόσος Alzheimer (AD), η Νόσος Parkinson (PD) και η Ήπια Νοητική Εξασθένηση (MCI).

Ο στόχος της Διδακτορικής Διατριβής καλύφθηκε ως εξής:

- » σχεδιάζοντας και εφαρμόζοντας ένα **μεγάλης κλίμακας πείραμα** σε προσομοιωτή οδήγησης
- » αναπτύσσοντας μια **πρωτότυπη μεθοδολογία** για την αξιολόγηση της επιρροής των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες στην οδηγική επίδοση, λαμβάνοντας υπόψιν τα νευροψυχολογικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά των οδηγών καθώς και τα χαρακτηριστικά κυκλοφορίας και οδικής ασφάλειας
- » ποσοτικοποιώντας **την επιρροή των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες απευθείας** στην οδηγική επίδοση, στα οδηγικά λάθη, στο χρόνο αντίδρασης και στην πιθανότητα ατυχήματος
- » **συγκρίνοντας την οδηγική επίδοση** των οδηγών με διαφορετικές νευρολογικές ασθένειες και
- » εξετάζοντας **την επιρροή της απόσπασης της προσοχής του οδηγού** στις επιδόσεις των οδηγών με νοητικές διαταραχές.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή μελετά την αλληλεπίδραση των νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, άλλων σχετικών παραμέτρων (δημογραφικών, ιατρικών και νευροψυχολογικών κ.α.), όπως επίσης οδικών και κυκλοφοριακών συνθηκών και της απόσπασης της προσοχής σε σχέση με την οδηγική συμπεριφορά. Η **συνδυαστική επιρροή αυτών των παραμέτρων «κλειδιά»** στην οδηγική επίδοση, στα οδηγικά λάθη, στο χρόνο αντίδρασης και στην

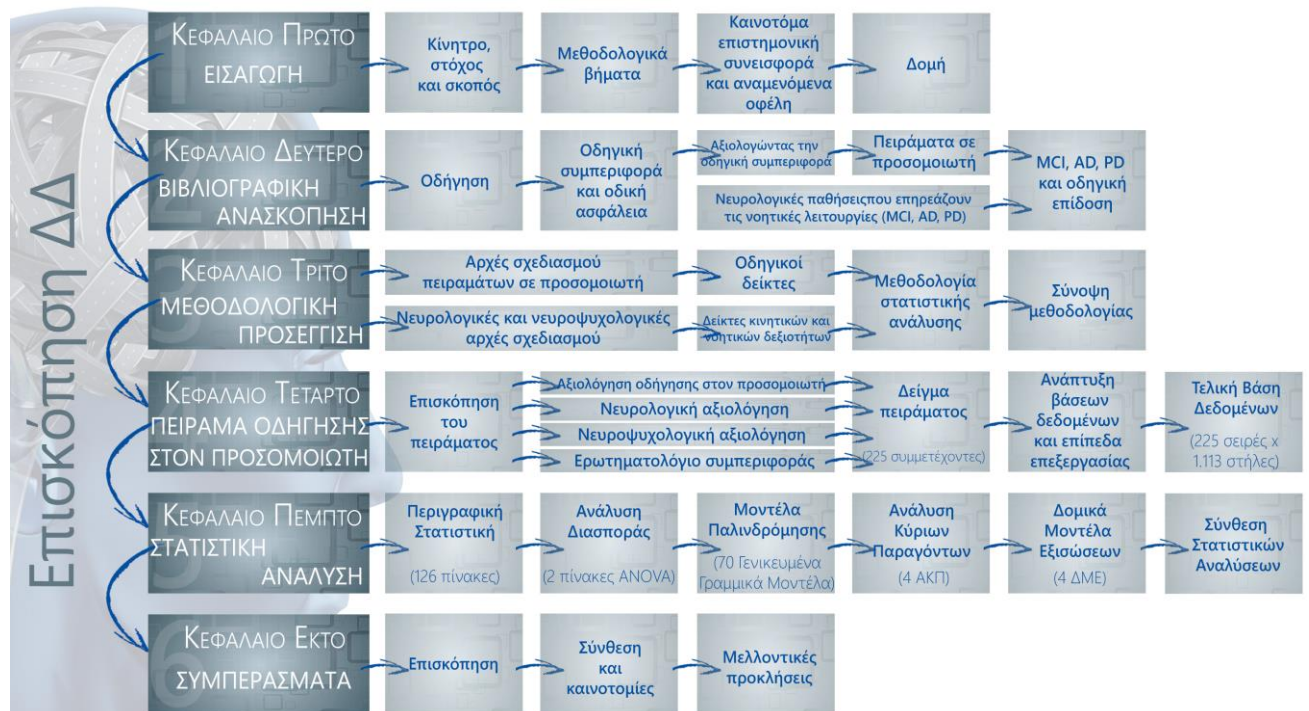
πιθανότητα ατυχήματος θα προσδώσουν γνώση που θα είναι ιδιαίτερος χρήσιμη στην ανάλυση κυκλοφορίας και ασφάλειας των οδηγών.

Δεδομένης της **αλληλεπίδρασης διαφόρων επιστημονικών πεδίων** στη διερεύνηση της μειωμένης οδηγικής επίδοσης λόγω νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες (αντικείμενο συγκοινωνιολόγου μηχανικού, νευρολόγου και νευροψυχολόγου), η Διδακτορική Διατριβή αυτή καλύπτει ένα ερευνητικό πεδίο μιας **προφανούς και μοναδικής διεπιστημονικής φύσης**, το οποίο όμως δεν έχει ερευνηθεί στο παρελθόν. Η ανάλυση των νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες και δημογραφικών και νευροψυχολογικών χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με την οδηγική επίδοση του γενικού πληθυσμού αποτελεί έναν πολύ κρίσιμο τομέα και ταυτόχρονα μια μεγάλη ερευνητική πρόκληση.

Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Διδακτορικής Διατριβής, ακολουθήθηκαν **τέσσερα διακριτά μεθοδολογικά βήματα**:

- 1ο. Εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση,
- 2ο. Μεθοδολογική προσέγγιση,
- 3ο. Σχεδιασμός και εφαρμογή ενός μεγάλης κλίμακας πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης, και
- 4ο. Ανάπτυξη και εφαρμογή μιας καινοτόμου στατιστικής μεθοδολογίας και ανάλυσης.

Η επισκόπηση της Διδακτορικής Διατριβής παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα:



Αρχικά, στα πλαίσια του Κεφαλαίου 2, **πραγματοποιήθηκε μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση**, εξετάζοντας την οδηγική συμπεριφορά και οδική ασφάλεια, τρόπους αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς, τα χαρακτηριστικά των προσομοιωτών οδήγησης, τις νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες (MCI, AD, PD) και πώς αυτές οι παθήσεις επηρεάζουν την οδηγική επίδοση.

Πιο συγκεκριμένα, μετά από μερικά ιστορικά στοιχεία για την οδήγηση αυτοκινήτου και τα βασικά χαρακτηριστικά και τις δεξιότητες που ένας οδηγός θα πρέπει να έχει, παρουσιάστηκε μια εισαγωγή για την **οδική ασφάλεια και την οδηγική συμπεριφορά**, με ιδιαίτερη έμφαση στη **σημασία του ανθρώπινου παράγοντα και της νοητικής λειτουργίας σε αυτές**. Επιπλέον, υπογραμμίστηκαν οι κίνδυνοι της απόσπασης της προσοχής του οδηγού κατά την οδήγηση και οι πιθανές αντισταθμιστικές στρατηγικές τις οποίες οι οδηγοί χρησιμοποιούν σε αυτές τις συνθήκες οδήγησης. Στη συνέχεια, προχωρώντας προς τους τρόπους που η επιστημονική κοινότητα αποτιμά και αξιολογεί την οδηγική συμπεριφορά, εξετάστηκαν τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί των πειραμάτων σε πραγματικές συνθήκες στο δρόμο, και πειραμάτων σε προσομοιωτή, σε βάθος μελέτες και έρευνες και ερωτηματολόγια, και καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η οδήγηση σε πειράματα προσομοιωτή προσφέρει ένα ασφαλές περιβάλλον, μεγαλύτερο δείγμα ελέγχου, και μεγάλη ποικιλία από συνθήκες δοκιμών, όμως πάσχει από προβλήματα «learning effects», «ζαλάδα στον προσομοιωτή», και υψηλό κόστος.

Παράλληλα, η ανασκόπηση της βιβλιογραφίας εισχώρησε σε τομείς των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες και επικεντρώθηκε στις εξής τρεις: **Ήπια Νοητική Εξασθένηση (MCI), Νόσο του Alzheimer (AD), και Νόσο του Parkinson (PD)**. Το κύριο μέρος της ανασκόπησης αυτής περιελάμβανε αρκετές μελέτες, οι οποίες επέτρεψαν την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις οδηγικές δυσκολίες των οδηγών που πάσχουν από MCI, AD και PD.

Μελετώντας εργασίες με οδηγούς με MCI, αυτές που εξετάζουν την οδηγική επίδοση μέσω πειραμάτων οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες, διαπιστώνεται πως οι ασθενείς αυτοί, παρόλο που βιώνουν ανεπαίσθητες αλλαγές όσον αφορά τις οδηγικές τους επιδόσεις, είναι σε θέση να οδηγούν με ασφάλεια. Ωστόσο, εντοπίζεται ένα επίπεδο δυσλειτουργίας συγκριτικά με τους υγιείς μάρτυρες, πράγμα που

σημαίνει ότι εξακολουθούν να αποτελούν μια ομάδα ρίσκου όσον αφορά της οδήγησή τους, που δικαιολογεί τη στενή επίβλεψή τους.

Εξετάζοντας μελέτες για ασθενείς με AD, η οδηγική τους απόδοση μειώνεται σημαντικά στα πειράματα σε πραγματικές οδηγικές συνθήκες, αλλά και πειράματα σε προσομοιωτή οδήγησης αναφέρουν χειρότερες επιδόσεις οδήγησης σε σύγκριση με τους υγιείς μάρτυρες σε διάφορες οδηγικές παραμέτρους.

Οι μελέτες για τους ασθενείς με PD, αναφέρουν ότι η ικανότητα οδήγησής τους είναι προβληματική, κυρίως λόγω νοητικής εξασθένησης. Επιπλέον, «ηχηρές» δυσκολίες σε πολλές οδηγικές παραμέτρους φαίνεται να υπάρχουν σε οδηγούς με PD κάτω από απαιτητικές συνθήκες οδήγησης, οι οποίες περιλαμβάνουν αυξημένο γνωστικό φορτίο.

Εν συνεχεία, αναπτύχθηκε μια καινοτόμα μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης στον τομέα της αξιολόγησης της οδηγικής συμπεριφοράς ασθενών με νοητικές παθήσεις νευρολογικών αιτιών. Αυτή η **καινοτόμα μεθοδολογική προσέγγιση** βασίστηκε αρχικά στη βιβλιογραφική ανασκόπηση όσον αφορά στις αρχές σχεδιασμού πειραμάτων προσομοιωτή οδήγησης, νευρολογικών και νευροψυχολογικών πειραμάτων, παραμέτρους ανάλυσης οδηγικής επίδοσης, παραμέτρους νευρολογικής και νευροψυχολογικής κατάστασης και μεθόδους στατιστικής ανάλυσης.

Πιο συγκεκριμένα, όσον αφορά τη μεθοδολογική προσέγγιση, αποκαλύφθηκε ότι **ο πειραματικός σχεδιασμός ενός πειράματος σε προσομοιωτή οδήγησης** θα μπορούσε να είναι «within» ή «between-subject» ή «full factorial» και υπάρχουν πιθανές μεθοδολογικές «απειλές» που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά το σχεδιασμό ενός πειράματος. Η συμπεριφορά του οδηγού είναι ένα πολυδιάστατο φαινόμενο, το οποίο σημαίνει ότι δεν υπάρχει μια συγκεκριμένη και μεμονωμένη οδηγική παράμετρος, που να μπορεί να συλλάβει την επιρροή των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες στην οδήγηση. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν πολλές διαφορετικές μέθοδοι και δείκτες αξιολόγησης της οδηγικής επίδοσης, οι συνηθέστεροι από τους οποίους περιλαμβάνουν **πλευρικούς δείκτες οδήγησης, κατά μήκος δείκτες οδήγησης, χρόνους αντίδρασης, κίνηση των ματιών στην οδήγηση και δείκτες λειτουργίας του εγκεφάλου**.

Παράλληλα, προκειμένου να αξιολογηθεί η οδηγική επίδοση των ασθενών με νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, εκτός από το

πείραμα οδήγησης, είναι απαραίτητος και **ο σχεδιασμός νευρολογικών και νευροψυχολογικών πειραμάτων**. Ο νευρολογικός πειραματικός σχεδιασμός θα πρέπει να ασχοληθεί με πολλούς τομείς: μνήμης, προσανατολισμού στο χρόνο και στο χώρο, με το νευρικό ανθρώπινο σύστημα, τις καθημερινές δραστηριότητες, τη συναισθηματική κατάσταση, τη συμπεριφορά ύπνου και τις κινητικές ικανότητες. Ο νευροψυχολογικός πειραματικός σχεδιασμός θα πρέπει να ασχοληθεί με τα γνωστικά πεδία: συνολική νοητική κατάσταση, λεκτική μνήμη και μάθηση, τη λεκτική μνήμη εργασίας, την οπτική σάρωση, χωρική μνήμη και μάθηση, οπτικοχωρική αντίληψη και μνήμη εργασίας, κατασκευαστική ικανότητα, προσοχή/πληροφορίες για την ταχύτητα επεξεργασίας/αντίληψης, επιλεκτική και διαιρούμενη προσοχή, εκτελεστικές λειτουργίες και ψυχοκινητική επαγρύπνηση.

Η μεθοδολογική ανασκόπηση έδειξε ότι ανάλυση λανθανουσών μεταβλητών και ειδικότερα τεχνικές μοντελοποίησης με χρήση δομικών μοντέλων εξισώσεων δεν έχει ποτέ πραγματοποιηθεί στο παρελθόν στον τομέα της οδηγικής συμπεριφοράς οδηγών με νευρολογικές παθήσεις, που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Για το λόγο αυτό και στα πλαίσια της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, **αναπτύχθηκε μια πρωτότυπη στατιστική μεθοδολογία, η οποία αποτελείται από πέντε βήματα:** α) Περιγραφική Στατιστική, β) Ανάλυση Διασποράς, γ) Μοντέλα Παλινδρόμησης, δ) Ανάλυση Κύριων Παραγόντων, και ε) Δομικά Μοντέλα Εξισώσεων.

Εν συνεχεία, στα πλαίσια του Κεφαλαίου 4, βασιζόμενοι στη βιβλιογραφική και μεθοδολογική ανασκόπηση, **σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε ένα μεγάλης κλίμακας πείραμα σε προσομοιωτή οδήγησης** στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής του Ε.Μ.Π., που ως στόχο είχε την αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς των ασθενών με νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Ο στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι να παρουσιάσει την πειραματική διαδικασία τόσο σε επίπεδο εννοιολογικού πλαισίου και εφαρμογής, καθώς επίσης να αποτυπώσει τις βασικές παραμέτρους καταγραφής και συλλογής των δεδομένων.

Το πείραμα σχεδιάστηκε διεπιστημονικά και περιελάμβανε δυο επιστημονικές ομάδες: **Συγκοινωνιολόγους Μηχανικούς** του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), **Νευρολόγους, Νευροψυχολόγους και Ψυχιάτρο** της Β' Νευρολογικής Κλινικής του Πανεπιστημίου Αθηνών στο Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο «ΑΤΤΙΚΟΝ». Οι κλάδοι αξιολόγησης ήταν τρεις:

» **Οδήγηση στον προσομοιωτή:** Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός και η εφαρμογή του πειράματος στον προσομοιωτή, καθώς αποτελεί ένα καινοτόμο

στοιχείο της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής, επιτρέποντας να καλυφθούν οι πολύπλοκες προκλήσεις της. Όλα τα ατομικά μέρη του πειράματος σχεδιάστηκαν και εφαρμόστηκαν προσεκτικά λαμβάνοντας υπόψιν τους περιορισμούς και τις ανάγκες που εντοπίστηκαν σε αντίστοιχα πειράματα σε προσομοιωτή οδήγησης από άλλες μελέτες.

- » **Ιατρική/νευρολογική αξιολόγηση:** Η δεύτερη αξιολόγηση αφορά την πραγματοποίηση μιας πλήρους κλινικής, οφθαλμολογικής και νευρολογικής αξιολόγησης, προκειμένου να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά της κάθε εξεταζόμενης εγκεφαλικής πάθησης (MCI, AD, PD) των συμμετεχόντων.
- » **Νευροψυχολογική αξιολόγηση:** Η τρίτη αξιολόγηση αφορά τη χορήγηση μιας σειράς νευροψυχολογικών δοκιμασιών και ψυχολογικών ερωτηματολογίων συμπεριφοράς στους συμμετέχοντες. Οι δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γνωστικών λειτουργιών: οπτικοχωρική και λεκτική μνήμη, επιλεκτική και διαιρούμενη προσοχή, χρόνο αντίδρασης, ταχύτητα επεξεργασίας, ψυχοκινητική ταχύτητα κλπ.

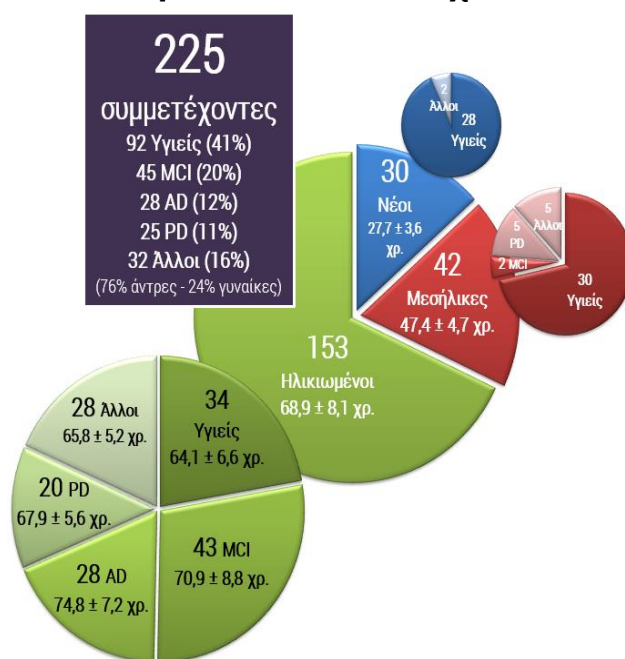
Η πειραματική διαδικασία περιελάμβανε:

- » **Μια δοκιμαστική διαδρομή** (εξοικείωση με τον προσομοιωτή)
- » **Μια διαδρομή εκτός πόλης** (2,1km μήκος, μία λωρίδα ανά κατεύθυνση, 3m πλάτος λωρίδας)
- » **Μια διαδρομή εντός πόλης** (1,7km μήκος, στο μεγαλύτερο μέρος 2 λωρίδες ανά κατεύθυνση, 3.5m πλάτος λωρίδας)
- » **Δυο σενάρια κυκλοφοριακού φόρτου** για κάθε διαδρομή:
 - » Q_M : Χαμηλός κυκλοφοριακός φόρτος ($Q=300$ οχήματα/ώρα)
 - » Q_H : Υψηλός κυκλοφοριακός φόρτος ($Q=600$ οχήματα/ώρα)
- » **Τρεις καταστάσεις απόσπασης προσοχής** για κάθε διαδρομή:
 - » Απερίσπαστη οδήγηση
 - » Οδήγηση με ταυτόχρονη συνομιλία με συνεπιβάτη
 - » Οδήγηση με ταυτόχρονη συνομιλία μέσω κινητού τηλεφώνου
- » **Δυο απρόσμενα συμβάντα** για κάθε υπο-διαδρομή:
 - » Ξαφνική είσοδος ενός ζώου στο δρόμο (εκτός πόλης)
 - » Ξαφνική εμφάνιση ενός παιδιού να κυνηγάει μια μπάλα στο δρόμο ή ενός αυτοκινήτου να εισέρχεται στο δρόμο εξερχόμενο από μια θέση στάθμευσης (εντός πόλης)

Συνολικά η πλήρης πειραματική διαδικασία περιελάμβανε δώδεκα υπο-διαδρομές. Όλες αυτές οι συνθήκες αναλύθηκαν με «**full factorial within-subject**» σχεδιασμό. Επιπλέον, διάφορες άλλες πτυχές του σχεδιασμού παρουσιάστηκαν σχετικά με τη «ζαλάδα στον προσομοιωτή», με τα θέματα συζήτησης, τα συμβάντα, και την τυχαιοποίηση των υπο-διαδρομών, καθώς και το πώς προγραμματίστηκαν τα σενάρια οδήγησης. Επιπλέον, οι νευρολογικές και οι νευροψυχολογικές δοκιμασίες

παρουσιάστηκαν αναλυτικά, καθώς και το ερωτηματολόγιο οδηγικής συμπεριφοράς σχετικά με τις οδηγικές συνήθειες των συμμετεχόντων.

Για τους σκοπούς αυτής της Διδακτορικής Διατριβής, «έλαβαν αύξοντα αριθμό» και ξεκίνησαν την πειραματική διαδικασία που περιγράφηκε νωρίτερα 274 συμμετέχοντες, 49 από τους οποίους αποκλείστηκαν από τη συνέχεια του πειράματος, εξαιτίας του γεγονότος ότι αντιμετώπισαν προβλήματα λόγω ζαλάδας στον προσομοιωτή από την αρχή του πειράματος. Έτσι το δείγμα οδηγών που ολοκλήρωσε την πειραματική διαδικασία **περιλαμβάνει 225 συμμετέχοντες** (76% άντρες - 24% γυναίκες): **133 ασθενείς** με νευρολογική ασθένεια που επηρεάζει τις εγκεφαλικές λειτουργίες (28 ασθενείς με AD, 45 με MCI, 25 με PD, και 35 ασθενείς με κάποια άλλη νευρολογική εγκεφαλική πάθηση) και **92 υγιείς** χωρίς κάποια νευρολογική εγκεφαλική πάθηση. **Από την οπτική γωνία της ηλικίας**, τρεις ηλικιακές ομάδες αναπτύχθηκαν και χωρίστηκαν ως εξής: **30 Νέοι Οδηγοί (ηλικία<34)**, **42 Μεσήλικες Οδηγοί (35<ηλικία<54)** και **153 Ηλικιωμένοι Οδηγοί (ηλικία>55)**



Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν **έξι Διακριτά Επίπεδα Επεξεργασίας Δεδομένων Προσομοιωτή Οδήγησης**, προκειμένου να αντιμετωπιστεί κατάλληλα η μεγάλη και διαφοροποιημένη ποσότητα των δεδομένων που συλλέχθηκαν και να καταλήξουν σε ένα αρχείο, που περιλαμβάνει όλα τα δεδομένα για όλους τους οδηγούς από όλες τις αξιολογήσεις, το οποίο αναλύθηκε μέσω μιας **ειδικής και καινοτόμου μεθόδου στατιστικής ανάλυσης**:

- » **PL0.** Traffic Session Original Log Αρχεία (900.txt αρχεία συνολικά ~ 60.000 σειρές το καθένα)
- » **PL1.** Driver Original Data Excel Αρχεία (225.xls αρχεία συνολ. ~4 φύλλα ~60.000 σειρές το καθένα)
- » **PL2.** Driver Processed Data Excel Αρχεία (225.xls αρχεία συνολ. ~2 φύλλα ~60.000 σειρές το καθένα)
- » **PL3.** All Drivers Processed Data Excel Αρχείο (1 .accdb αρχείο ~ 20 εκατ. σειρές x 40 στήλες)
- » **PL4.** All Drivers Summary Data Excel Αρχείο (1 .xls αρχείο ~ 2.700 σειρές x 40 στήλες)
- » **PL5.** All Assessments Processed Data Αρχείο (1 .xls αρχείο ~225 σειρές x 1.113 στήλες)

Στα πλαίσια εργασιών του Κεφαλαίου 5, το αρχείο «All Drivers and All Assessments Processed Data», αναλύθηκε στατιστικά μέσω μιας **ειδικής και πρωτότυπης στατιστικής μεθοδολογίας ανάλυσης**. Στο πρώτο βήμα, έλαβε χώρα η **περιγραφική στατιστική όλων των δεδομένων του πειράματος**, η οποία επιτρέπει μια πρώτη προσέγγιση και κατανόηση του μεγάλου αριθμού των παραμέτρων που εξετάστηκαν. Ειδικότερα, πραγματοποιήθηκε μια επισκόπηση όλων των μεταβλητών που εξάγει ο προσομοιωτής, ερευνώντας την επιρροή συγκεκριμένων οδηγικών χαρακτηριστικών σε επιλεγμένες οδηγικές παραμέτρους. Αναπτύχθηκαν 126 διαγράμματα «boxplots» συσχετίζοντας τη μέση ταχύτητα, τη χρονοαπόσταση, την πλευρική θέση, τη διακύμανση της γωνίας του τιμονιού, το χρόνο αντίδρασης, την πιθανότητα ατυχήματος και τα οδηγικά λάθη, με τον κυκλοφοριακό φόρτο, και την περιοχή οδήγησης, ανάλογα με την ηλικία ή την εγκεφαλική κατάσταση των συμμετεχόντων.

Στο δεύτερο βήμα, πραγματοποιήθηκε **Ανάλυση Διακύμανσης (ANOVA)** προκειμένου να προκύψουν οι στατιστικά σημαντικές διαφορές στους διάφορους δείκτες οδηγικής επίδοσης, που εξάγονται από την οδήγηση στον προσομοιωτή. Ακριβέστερα, πραγματοποιήθηκαν δύο Αναλύσεις Διακύμανσης (ANOVA) για τον προσδιορισμό των στατιστικά σημαντικών διαφορών στους δείκτες οδηγικής επίδοσης, που εξήχθησαν από την οδήγηση στον προσομοιωτή και από τις απαντήσεις που εξήχθησαν από τα ερωτηματολόγια συμπεριφοράς, μεταξύ των δύο ομάδων: ομάδα ελέγχου των υγιών και ομάδα ασθενών.

Στο τρίτο στάδιο, στο πλαίσιο της προκαταρκτικής ανάλυσης, πραγματοποιήθηκε η **ανάπτυξη σειράς Μοντέλων Παλινδρόμησης** σχετικά με τις βασικές παραμέτρους οδηγικής επίδοσης, προκειμένου να εκτιμηθεί η επιρροή των εγκεφαλικών νόσων και των χαρακτηριστικών οδήγησης σε ειδικές παραμέτρους οδηγικής επίδοσης και έμμεσα στην οδηγική συμπεριφορά και την οδική ασφάλεια. Πιο συγκεκριμένα εξήχθησαν 28 Γενικά Γραμμικά Μοντέλα (GLM) σχετικά με την επίδραση των MCI, AD και PD στη: μέση ταχύτητα, χρονοαπόσταση, πλευρική θέση, διακύμανση γωνίας τιμονιού, χρόνο αντίδρασης σε απρόσμενα συμβάντα, πιθανότητα ατυχήματος, και οδηγικά λάθη και 42 Γενικά Γραμμικά Μοντέλα σχετικά με την επίδραση της απόσπασης της προσοχής για τους ίδιους δείκτες οδηγικής επίδοσης με προηγούμενα, των ασθενών με MCI, AD και PD και των υγιών.

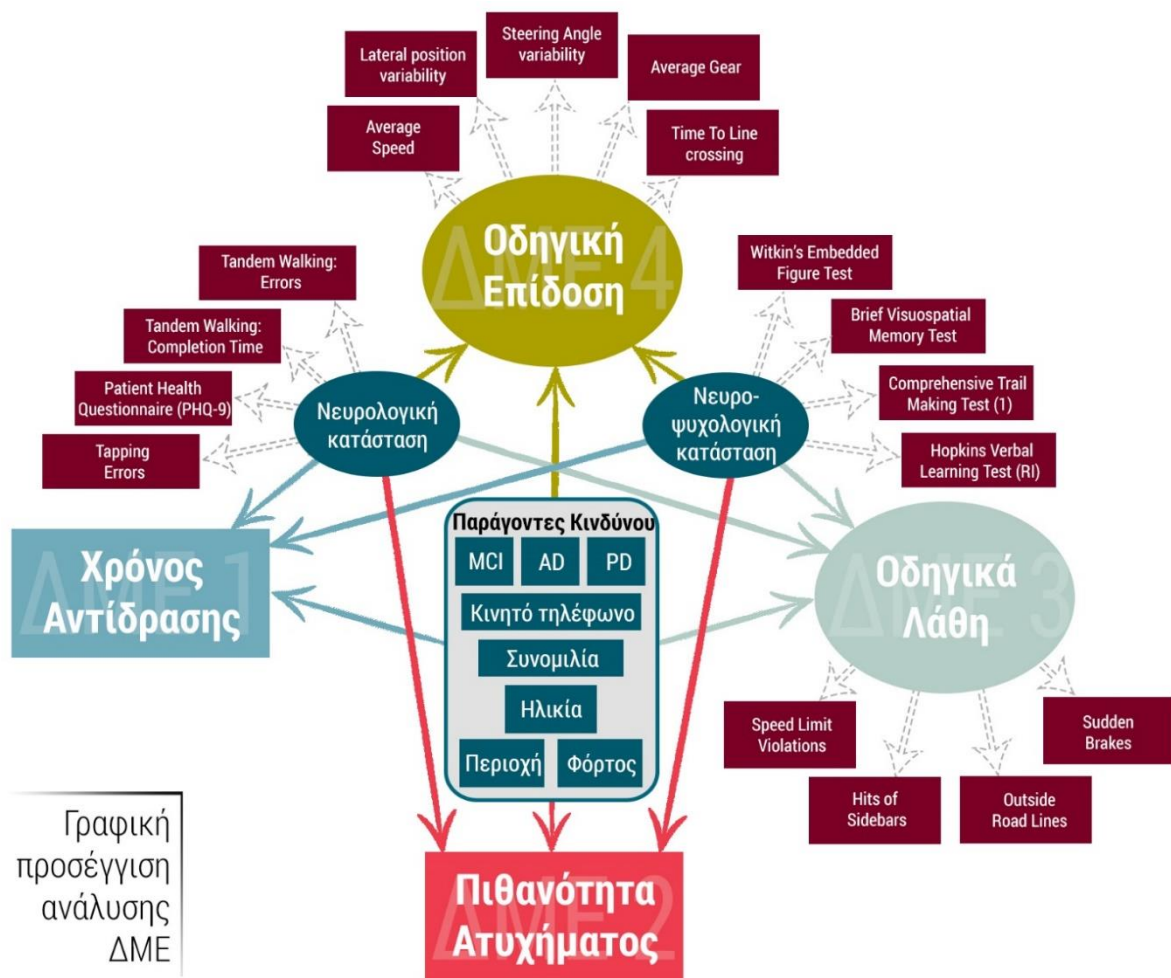
Στο τέταρτο στάδιο, υλοποιήθηκαν **τέσσερις Αναλύσεις Κύριων Παραγόντων** σχετικά με την οδηγική επίδοση, τα οδηγικά λάθη, τη νευροψυχολογική κατάσταση

και τη νευρολογική κατάσταση, προκειμένου να διερευνηθεί ποιες «παρατηρούμενες» μεταβλητές είναι πιο υψηλά συσχετισμένες με τους κύριους παράγοντες και πόσοι παράγοντες απαιτούνται για να περιγράψουν με επάρκεια τα δεδομένα.

Το πέμπτο και τελευταίο βήμα, που αποτελεί και τον πυρήνα της στατιστικής ανάλυσης, περιλαμβάνει της εφαρμογή **τεσσάρων Δομικών Μοντέλων Εξισώσεων (ΔΜΕ)** για πρώτη φορά στο επιστημονικό πεδίο της οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών με νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Στο πλαίσιο της ανάλυσης λανθανουσών μεταβλητών και με βάση τους παράγοντες που εξήχθησαν από την προηγούμενη ανάλυση, **αναπτύχθηκαν τέσσερις λανθάνουσες μεταβλητές**: «οδηγική επίδοση», «οδηγικά λάθη», «νευρολογική κατάσταση» και «νευροψυχολογική κατάσταση», προκειμένου να εισαχθούν στα τέσσερα ΔΜΕ.

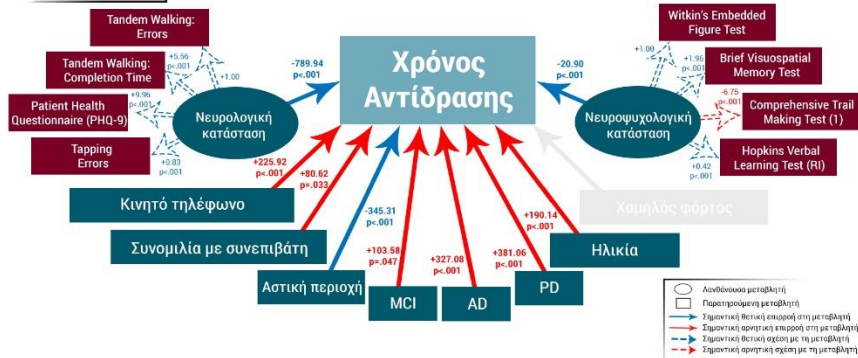
Οι ακόλουθοι πέντε οδηγικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που αντανακλά τη **λανθάνουσα μεταβλητή «οδηγική επίδοση»**: α) μέση ταχύτητα, β) διακύμανση πλευρικής θέσης, γ) διακύμανση γωνίας τιμονιού, δ) μέση σχέση στο κιβώτιο ταχυτήτων, και ε) χρόνος για αλλαγή λωρίδας. Οι ακόλουθοι τέσσερις οδηγικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που αντανακλά τη **λανθάνουσα μεταβλητή «οδηγικά λάθη»**: α) εκτός της λωρίδας, β) χτυπήματα στο στηθαίο ασφαλείας/προστατευτικά κολωνάκια, γ) παραβιάσεις του ορίου ταχύτητας και δ) απότομα φρεναρίσματα. Οι ακόλουθοι τέσσερις νευροψυχολογικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που αντανακλά τη **λανθάνουσα μεταβλητή «νευροψυχολογική κατάσταση»**: α) Witkin's Embedded Figure Test, β) Brief Visuospatial Memory Test, γ) Comprehensive Trail Making Test - 1, και δ) Hopkins Verbal Learning Test. Τέλος, οι ακόλουθοι τέσσερις νευρολογικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που αντανακλά τη **λανθάνουσα μεταβλητή «νευρολογική κατάσταση»**: α) Tandem Walking Errors, β) Tandem Walking Time, γ) Patient Health Questionnaire (PHQ-9) και δ) Foot Tapping Errors.

Τα τέσσερα ΔΜΕ αναπτύχθηκαν με στόχο την ποσοτικοποίηση της επιρροής των MCI, AD και PD, της απόσπασης της προσοχής του οδηγού, των χαρακτηριστικών του οδηγού, της νευρολογικής και νευροψυχολογικής κατάστασης, καθώς και των οδικών και κυκλοφοριακών συνθηκών **απευθείας στην οδηγική συμπεριφορά, η οποία εκφράζεται με τις παρατηρούμενες μεταβλητές χρόνος αντίδρασης και πιθανότητα ατυχήματος και με τις λανθάνουσες μεταβλητές «οδηγική επίδοση» και «οδηγικά λάθη»**. Τα τέσσερα διαφορετικά ΔΜΕ αναπτύσσονται όπως περιγράφονται γραφικά στο ακόλουθο σχήμα και επεξηγούνται κάτωθι:



Στο **πρώτο και το δεύτερο ΔΜΕ**, ο στόχος είναι η ποσοτικοποίηση της επιρροής των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, της απόσπασης της προσοχής του οδηγού, της ηλικίας, του κυκλοφοριακού φόρτου και του οδικού περιβάλλοντος για τις παρατηρούμενες μεταβλητές «**χρόνος αντίδρασης**» και «**πιθανότητα ατυχήματος**». Επιπλέον, αναλύεται η ποσοτικοποιημένη επιρροή των δύο λανθανουσών μεταβλητών σχετικά με τη νευρολογική και νευροψυχολογική κατάσταση των οδηγών στις παρατηρούμενες μεταβλητές. Στο **τρίτο και τέταρτο ΔΜΕ**, οι βασικές λανθάνουσες μεταβλητές αντανακλούν την «**οδηγική επίδοση**» και τα «**οδηγικά λάθη**» και ο στόχος είναι η ποσοτικοποίηση της επιρροής των νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, της απόσπασης της προσοχής, των χαρακτηριστικών του οδηγού, του κυκλοφοριακού φόρτου και του οδικού περιβάλλοντος στην «οδηγική επίδοση» και τα «οδηγικά λάθη». Επιπροσθέτως, αναλύεται η ποσοτικοποιημένη επιρροή της λανθάνουσας μεταβλητής «νευρολογική κατάσταση» και της λανθάνουσας μεταβλητής «νευροψυχολογική κατάσταση» των οδηγών στις λανθάνουσες μεταβλητές «οδηγική επίδοση» και «οδηγικά λάθη».

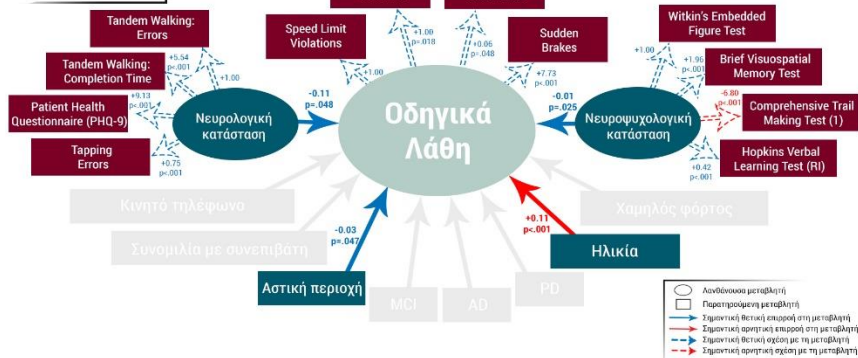
ΔΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ 1



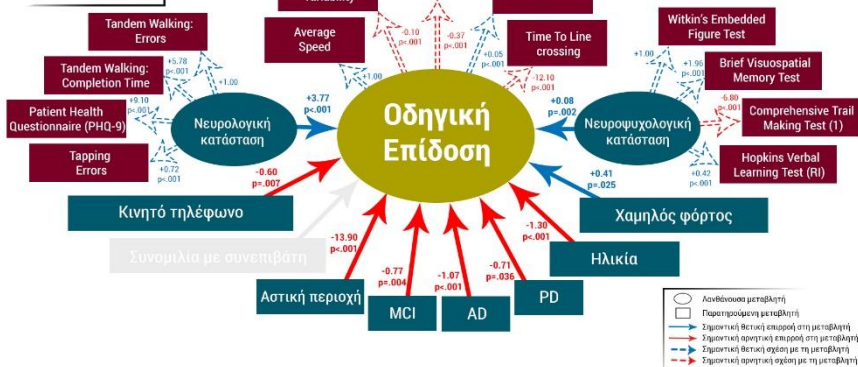
ΔΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ 2



ΔΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ 3



ΔΟΜΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ 4



Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τα κυριότερα συμπεράσματα που εξήχθησαν από την παρούσα Διδακτορική Διατριβή, **εστιάζοντας στην καινοτόμα επιστημονική συνεισφορά και στη σύνθεση των πλέον αξιοπρόσεκτων και ενδιαφερόντων αποτελεσμάτων της έρευνας αυτής**. Το καινοτόμο επιστημονικό προϊόν της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής συγκεντρώνεται σε πέντε πρωτοτυπίες, όπως παρουσιάζονται κάτωθι:



Υλοποίηση ενός μεγάλου διεπιστημονικού πειράματος, που περιλαμβάνει ιατρική, ψυχολογική και οδηγική αξιολόγηση

Η πρώτη καινοτομία της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι μεθοδολογικού περιεχομένου. **Ο σχεδιασμός και η υλοποίηση ενός μεγάλης κλίμακας διεπιστημονικού πειράματος**, που περιλαμβάνει δύο επιστημονικούς κλάδους, έναν ενδιαφέροντος συγκοινωνιολόγου μηχανικού, και έναν ιατρικού ενδιαφέροντος (νευρολογικού και νευροψυχολογικού), αποτελεί **κεντρική συνιστώσα** της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής. Λόγω της συμμετοχής αυτών των διαφορετικών επιστημονικών κλάδων που εμπλέκονται στην παρούσα έρευνα λόγω της οδήγησης των νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες (αντικείμενο ενδιαφέροντος συγκοινωνιολόγου μηχανικού, νευρολόγου και νευροψυχολόγου), αυτή η Διδακτορική Διατριβή καλύπτει ένα πεδίο έρευνας με προφανή, αλλά όχι

προηγούμενως εξεταζόμενη διεπιστημονική φύση. Πιο συγκεκριμένα, οι πτυχές της οδηγικής συμπεριφοράς και ασφάλειας που εξετάστηκαν ήταν εγγενώς διεπιστημονικές, και το πείραμα που σχεδιάστηκε περιλαμβάνει τρεις τύπους αξιολόγησης:

- » **Οδήγηση στον προσομοιωτή (12 υπο-διαδρομές οδήγησης ~ 1,5 ώρα¹):** Η πρώτη αξιολόγηση αφορά την οδηγική συμπεριφορά προγραμματίζοντας ένα «σετ» διαδρομών για οδήγηση στον προσομοιωτή οδήγησης σε διαφορετικές συνθήκες περιοχών και κυκλοφορίας. Η τυχαιοποίηση της σειράς με την οποία οδήγησαν τις επιμέρους διαδρομές οι συμμετέχοντες, ο αρκετός χρόνος δοκιμαστικής οδήγησης για εξοικείωση με το περιβάλλον του προσομοιωτή, και η έρευνα για το βέλτιστο αριθμό διαφορετικών συνθηκών οδήγησης θεωρούνται σχεδιαστικές καινοτομίες του πειράματος.
- » **Ιατρική/νευρολογική αξιολόγηση (19 τέστ ~ 2 ώρες):** Η δεύτερη αξιολόγηση αφορά την πραγματοποίηση μιας πλήρους κλινικής, οφθαλμολογικής και νευρολογικής αξιολόγησης, προκειμένου να καταγραφούν τα χαρακτηριστικά της κάθε εξεταζόμενης εγκεφαλικής πάθησης (MCI, AD, PD) των συμμετεχόντων.
- » **Νευροψυχολογική αξιολόγηση (20 τέστ ~ 2,5 ώρες):** Η τρίτη αξιολόγηση αφορά τη χορήγηση μιας σειράς νευροψυχολογικών δοκιμασιών και ψυχολογικών ερωτηματολογίων συμπεριφοράς στους συμμετέχοντες. Οι δοκιμασίες που πραγματοποιήθηκαν καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα γνωστικών λειτουργιών: οπτικοχωρική και λεκτική μνήμη, επιλεκτική και διαιρούμενη προσοχή, χρόνο αντίδρασης, ταχύτητα επεξεργασίας, ψυχοκινητική ταχύτητα κλπ.

Συνολικά, **225 οδηγοί** (133 ασθενείς με MCI, AD και PD και 92 υγιείς μάρτυρες) πέρασαν όλη την πειραματική διαδικασία μέσα σε διάστημα 2 ετών. Το μέγεθος αυτό του δείγματος θεωρείται **μεγάλο και αντιπροσωπευτικό**, το οποίο έχει μεγάλη σημασία, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς του σχεδιασμού που προέρχονται από τη διεθνή βιβλιογραφία. Ο πρωταρχικός στόχος για το σχεδιασμό του πειράματος ήταν από τη μία πλευρά να είναι σε θέση όλοι οι συμμετέχοντες να περάσουν από όλες τις απαιτούμενες νευρολογικές και νευροψυχολογικές αξιολογήσεις, τα ερωτηματολόγια και το πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης και από την άλλη πλευρά η διαδικασία **να μην είναι πολύ απαιτητική για τους συμμετέχοντες είτε σωματικά είτε ψυχικά** (ειδικά για τα άτομα με νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες). Για το σκοπό αυτό οι 6 ώρες των

¹ Περίπου 40' καθαρής οδήγησης + 15' δοκιμαστικής οδήγησης + 35' μικρών διαλειμμάτων

συνολικών ιατρικών, νευροψυχολογικών και οδήγησης στον προσομοιωτή δοκιμασιών χωρίστηκαν σε τρεις ημέρες.

Εφαρμογή μιας πρωτότυπης και ολοκληρωμένης διεπιστημονικής μεθοδολογίας στατιστικής ανάλυσης λανθανουσών μεταβλητών

Η δεύτερη καινοτομία της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής είναι επίσης μεθοδολογική, προτείνοντας την εφαρμογή **τεσσάρων λανθανουσών μεταβλητών, που καλύπτουν και τους τρεις τομείς αυτής της διεπιστημονικής Διδακτορικής Διατριβής: «οδηγική επίδοση» και «οδηγικά λάθη», που προέρχονται από το πείραμα στον προσομοιωτή οδήγησης, «νευρολογική κατάσταση» που εξάγεται από τη νευρολογική βάση δεδομένων και «νευροψυχολογική κατάσταση» που προέρχεται από τη νευροψυχολογική βάση δεδομένων, προκειμένου να δημιουργήσουν τέσσερα ΔΜΕ. Οι τέσσερις λανθάνουσες μεταβλητές αναπτύχθηκαν με τη χρήση των πιο κρίσιμων δεικτών (νευρολογικοί, νευροψυχολογικοί, και οδηγικοί) που προέρχονται από τις Αναλύσεις Κύριων Παραγόντων.**

Διερευνητική Ανάλυση Κύριων Παραγόντων πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί ποιοι οδηγικοί δείκτες είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τη λανθάνουσα μεταβλητή **«οδηγική επίδοση»**. Οι ακόλουθοι πέντε οδηγικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που **αντανακλά τη λανθάνουσα μεταβλητή «οδηγική επίδοση»:** α) μέση ταχύτητα, β) διακύμανση πλευρικής θέσης, γ) διακύμανση γωνίας τιμονιού, δ) μέση σχέση στο κιβώτιο, και ε) χρόνος για αλλαγή λωρίδας.

Επιπρόσθετα, διερευνητική Ανάλυση Κύριων Παραγόντων πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί ποιοι οδηγικοί δείκτες είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τη λανθάνουσα μεταβλητή **«οδηγικά λάθη»**. Οι ακόλουθοι τέσσερις οδηγικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που **αντανακλά τη λανθάνουσα μεταβλητή «οδηγικά λάθη»:** α) εκτός της λωρίδας, β) χτυπήματα στο στήθαιο ασφαλείας/προστατευτικά κολωνάκια, γ) παραβιάσεις του ορίου ταχύτητας και δ) απότομα φρεναρίσματα.

Βασιζόμενοι στην ίδια προσέγγιση, πραγματοποιήθηκε διερευνητική Ανάλυση Κύριων Παραγόντων για να προσδιοριστεί ποιοι νευροψυχολογικοί δείκτες είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τη λανθάνουσα μεταβλητή **«νευροψυχολογική κατάσταση»**. Οι ακόλουθοι τέσσερις νευροψυχολογικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που **αντανακλά τη λανθάνουσα μεταβλητή «νευροψυχολογική κατάσταση»:** α) Witkin's Embedded

Figure Test, β) Brief Visuospatial Memory Test, γ) Comprehensive Trail Making Test - 1, και δ) Hopkins Verbal Learning Test.

Επιπροσθέτως, διερευνητική Ανάλυση Κύριων Παραγόντων πραγματοποιήθηκε για να προσδιοριστεί ποιοι νευρολογικοί δείκτες είχαν τη μεγαλύτερη συνεισφορά στο να περιγράψουν και να ερμηνεύσουν με τη μεγαλύτερη ακρίβεια τη λανθάνουσα μεταβλητή «**νευρολογική κατάσταση**». Τέλος, οι ακόλουθοι τέσσερις νευρολογικοί δείκτες σχηματίζουν την παράμετρο που αντανακλά τη **λανθάνουσα μεταβλητή «νευρολογική κατάσταση**»: α) Tandem Walking Errors, β) Tandem Walking Time, γ) Patient Health Questionnaire (PHQ-9) και δ) Foot Tapping Errors.

Η ανάλυση λανθανουσών μεταβλητών επέτρεψε ένα σημαντικό επιστημονικό βήμα προς τα εμπρός, από αποσπασματικές αναλύσεις σε μια βαθύτερη και συνδυαστική ανάλυση **της διεπιστημονικής αλληλεπίδρασης** μεταξύ των παραγόντων κινδύνου, της νευρολογικής κατάστασης, της νευροψυχολογικής κατάστασης, των οδηγικών επιδόσεων, των οδηγικών λαθών, του χρόνου αντίδρασης και της πιθανότητας ατυχήματος σε απρόσμενα συμβάντα.

Θεωρείται μια μεθοδολογική πρωτοτυπία της Διδακτορικής Διατριβής, ότι οι λανθάνουσες μεταβλητές που αντανακλούν το νευρολογικό και νευροψυχολογικό επίπεδο (νευρολογική κατάσταση και νευροψυχολογική κατάσταση) αλληλεπιδρούν με άλλες λανθάνουσες μεταβλητές οδήγησης (οδηγικές επιδόσεις, λάθη οδήγησης) και με άλλες παρατηρούμενες οδηγικές μεταβλητές όπως ο χρόνος αντίδρασης και η πιθανότητα ατυχήματος.

Ποσοτικοποίηση της επιρροής των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, στη συμπεριφορά κυκλοφορίας και ασφάλειας των οδηγών

Η τρίτη καινοτομία είναι η ποσοτικοποίηση της επιρροής των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, στη συμπεριφορά κυκλοφορίας και ασφάλειας των οδηγών, κάτι που θεωρείται ότι είναι ο πυρήνας αυτής της Διδακτορικής Διατριβής, σχετικά με τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα. Τα τρία πρώτα βήματα στατιστικής ανάλυσης, αποκαλύπτουν **στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ της ομάδας των ασθενών με νευρολογικές παθήσεις που προσβάλλουν τις νοητικές λειτουργίες και των υγιών με παρόμοια δημογραφικά χαρακτηριστικά σε αρκετές παραμέτρους οδηγικής επίδοσης**.

Ειδικότερα τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα Παλινδρόμησης που εξήχθησαν, έδειξαν ότι και **οι τρεις ομάδες ασθενών βρέθηκαν να οδηγούν σε σημαντικά χαμηλότερη μέση ταχύτητα** (πάνω από 20% χαμηλότερη) και διατηρούσαν μεγαλύτερες χρονοαποστάσεις (πάνω από 20% μεγαλύτερες) σε σύγκριση με τους υγιείς οδηγούς της ομάδας ελέγχου στις αγροτικές και αστικές οδούς, τόσο σε χαμηλούς όσο και σε υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους. Αναλύοντας τα πλευρικά μέτρα ελέγχου παρατηρήθηκε ότι **οι ασθενείς με MCI οδήγησαν πιο κοντά στο δεξιό άκρο του δρόμου** στην αστική περιοχή και στους δύο κυκλοφοριακούς φόρτους και, στην αγροτική περιοχή, η ομάδα PD είχε χαμηλή διακύμανση της γωνίας του τιμονιού σε υψηλό φόρτο κυκλοφορίας λόγω της χαμηλής τους ταχύτητας, της συντηρητικής οδήγησής τους και ίσως αυτό να είναι μια αντισταθμιστική συμπεριφορά.

Με τη χρήση των Γενικευμένων Γραμμικών Μοντέλων Παλινδρόμησης αναφορικά με το χρόνο αντίδρασης των ασθενών σε απρόσμενα συμβάντα, παρατηρήθηκε **ότι οι ασθενείς είχαν σημαντικά μεγαλύτερους χρόνους αντίδρασης σε όλες τις συνθήκες που εξετάστηκαν**, σε σύγκριση με την ανέπαφη νοητικά ομάδα. Αξίζει να επισημανθεί ότι οι χρόνοι αντίδρασής τους ήταν περισσότερο από 40% χειρότεροι από εκείνους της ομάδας ελέγχου. Προχωρώντας στην πιθανότητα ατυχήματος, **σημαντικά υψηλότερη πιθανότητα ατυχήματος ανιχνεύθηκε για την ομάδα AD** σε όλες τις εξεταζόμενες συνθήκες (η πιθανότητα ατυχήματος για την ομάδα AD ήταν πάνω από 20%) και για την ομάδα των MCI και PD μόνο σε αστική περιοχή. Αντίθετα, οι ασθενείς και οι υγιείς δεν είχαν διαφορές στα οδηγικά λάθη που έκαναν κατά τη διάρκεια της οδήγησης στο πείραμα του προσομοιωτή οδήγησης.

Αυτό το μέρος της ανάλυσης δείχνει περαιτέρω πως η εξέλιξη της νόσου (δηλαδή από την MCI στην AD) οδηγεί σε περισσότερο έντονα προβλήματα και δυσκολίες στην οδήγηση σε αρκετές οδηγικές παραμέτρους ελέγχου. Ενώ η μειωμένη μέση ταχύτητα, οι αυξημένοι χρονικοί διαχωρισμοί και η οδήγηση πιο κοντά στο δεξί σύνορο του δρόμου μπορεί να θεωρηθεί επωφελής για την οδική ασφάλεια, δεδομένου ότι αντανακλά ένα πιο συντηρητικό και προσεκτικό μοτίβο οδήγησης, **η αρνητική επίδραση στο χρόνο αντίδρασης και την πιθανότητας ατυχήματος υπερνικά όλα αυτά και οδηγεί σε συνολικά επικίνδυνη οδηγική συμπεριφορά.**

Η ανάλυση διακύμανσης ANOVA διερεύνησε τα ερωτηματολόγια συμπεριφοράς και ανέφερε ότι οι οδηγοί με MCI, AD και PD **έχουν επίγνωση των μειωμένων οδηγικών τους επιδόσεων**. Με βάση τα παραπάνω, εξάγεται το συμπέρασμα ότι οι εξεταζόμενες νοητικές διαταραχές οδηγούν σε προβληματική οδηγική συμπεριφορά

που όμως **αναπτύσσει στρατηγικές αντιστάθμισης της οδηγικής συμπεριφοράς**, λόγω της επίγνωσης των οδηγών για την οδηγική τους επίδοση, που εκφράζεται με μειωμένη ταχύτητα, αύξηση των χρονικών διαχωρισμών από τον προπορευόμενο, πιο συντηρητική τοποθέτηση του οχήματος (και, κατά συνέπεια, λιγότερους ελιγμούς και προσπεράσεις).

Τέλος, προχωρούμε στην ανάλυση ΔΜΕ σχετικά με τα **χαρακτηριστικά της συμπεριφοράς των οδηγών** (παρατηρούμενες μεταβλητές «χρόνος αντίδρασης» και «πιθανότητα ατυχήματος», και λανθάνουσες μεταβλητές «οδηγική επίδοση» και «οδηγικά λάθη»), τα βασικά ποσοτικά συμπεράσματα για τους προβλεπτικούς παράγοντες της ανάλυσης ΔΜΕ σχετικά με νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες.

Οι οδηγοί με MCI, AD και PD συνολικά οδήγησαν σημαντικά χειρότερα από ό,τι οι υγιείς μάρτυρες σχετικά με τις τέσσερις εξεταζόμενες παραμέτρους οδηγικής συμπεριφοράς. Πιο συγκεκριμένα, συνδέθηκαν με σημαντικά χαμηλότερα επίπεδα της λανθάνουσας μεταβλητής «οδηγική επίδοση», που αντανakλούσε ένα ευρύ φάσμα δεικτών οδήγησης και συσχετίστηκαν με σημαντικά χειρότερο «χρόνο αντίδρασης». Επίσης, οι κλινικές συνθήκες της AD και PD συνδέθηκαν με αρνητική επιρροή στην «πιθανότητα ατυχήματος». Τέλος, καμία από τις κλινικές ομάδες δεν έδειξε σημαντικά αυξημένη ποσότητα «οδηγικών λαθών».

Τα ευρήματα σχετικά με τους ασθενείς με AD και PD ήταν στην αναμενόμενη κατεύθυνση και είναι σύμφωνα με προηγούμενες έρευνες που δείχνουν δυσκολίες στην οδηγική επίδοση των δύο κλινικών ομάδων τόσο στην περίπτωση της οδήγησης σε προσομοιωτή όσο και σε περιπτώσεις αξιολόγησης της οδήγησης σε πραγματικές συνθήκες στο δρόμο. Όσον αφορά τους ασθενείς με MCI, η παρούσα ανάλυση με τη χρήση λανθανουσών μεταβλητών που αξιολογούν ένα ευρύ φάσμα οδηγικών δεικτών, δείχνει **μια σημαντικά χειρότερη οδηγική επίδοση** σε σύγκριση με τους υγιείς μάρτυρες. Διαπιστώθηκε ότι παρά τους χειρότερους χρόνους αντίδρασης, τις οδηγικές τους επιδόσεις και την πιθανότητα ατυχήματος, τα οδηγικά τους λάθη δε διέφεραν σημαντικά από τις υγιείς μάρτυρες.

Παρόλα αυτά, **η παράμετρος που καθιστά πρωτότυπη την ανάλυση αυτή** είναι η ανάπτυξη λανθανουσών μεταβλητών για την αξιολόγηση της οδηγικής συμπεριφοράς, που περιλαμβάνει μια ποικιλία δεικτών. Επιπλέον, ένα άλλο καινοτόμο στοιχείο είναι η εφαρμογή των πολυμεταβλητών ΔΜΕ, που κάνουν την εξερεύνηση της **μοναδικής και εξατομικευμένης επίπτωσης** των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες εφικτή στην οδηγική συμπεριφορά.

Η λανθάνουσα μεταβλητή **«νευροψυχολογική κατάσταση»** είχε θετική επίδραση σε όλες τις μεταβλητές οδηγικής συμπεριφοράς. Η λανθάνουσα μεταβλητή **«νευρολογική κατάσταση»** είχε σημαντική θετική επίδραση στην «οδηγική επίδοση», στα «οδηγικά λάθη» και στο χρόνο αντίδρασης, ενώ η επίδρασή της στην πιθανότητα ατυχήματος δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Η νευρολογική και νευροψυχολογική κατάσταση φαίνεται να επηρεάζει την οδηγική συμπεριφορά καθώς αντανακλά το επίπεδο του συντονισμού των κινήσεων του ανθρώπινου σώματος και της σταθερότητας της συμπεριφοράς αφενός, και αφετέρου λειτουργεί σε γνωστικά πεδία, όπως η μνήμη εργασίας, πληροφορίες για την ταχύτητα επεξεργασίας και την οπτική προσοχή.

Η συνομιλία με το συνεπιβάτη δε βρέθηκε να έχει κρίσιμη επίδραση στην οδηγική επίδοση, στα οδηγικά λάθη και στην πιθανότητα ατυχήματος, αποδεικνύοντας ότι οι οδηγοί δε μεταβάλλουν την οδηγική συμπεριφορά τους κάτω από αυτό το είδος της απόσπασης της προσοχής, αλλά έχουν χειρότερο χρόνο αντίδρασης. Από την άλλη πλευρά, **η χρήση του κινητού τηλεφώνου** είχε σημαντική αρνητική επίπτωση στην «οδηγική επίδοση», στο «χρόνο αντίδρασης», στην «πιθανότητα ατυχήματος» αλλά όχι στα «οδηγικά λάθη». Η αρνητική επίδραση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου στην οδηγική συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί **προσθέτοντας το ρόλο δύο συνεργατικών μηχανισμών**: πρώτον, λόγω του όγκου των σωματικών και νοητικών πόρων, που οι οδηγοί διαθέτουν για να οδηγήσουν και να μιλήσουν ταυτόχρονα και στο κινητό τηλέφωνο και δεύτερον, υιοθετώντας μια αντισταθμιστική συμπεριφορά, που ισοφαρίζει μόνο εν μέρει τις επιπτώσεις της απόσπασης της προσοχής στη συνολική οδηγική συμπεριφορά.

Η προχωρημένη ηλικία είχε σημαντική αρνητική επίπτωση στην «οδηγική επίδοση», στα «οδηγικά λάθη» και στο χρόνο αντίδρασης, ενώ ο αντίκτυπός της στην πιθανότητα ατυχήματος δεν ήταν στατιστικά σημαντικός. Όπως υποδεικνύεται από την σημαντική αρνητική επιρροή που παρατηρήθηκε στα τρία μοντέλα ΔΜΕ, ο ρόλος της προχωρημένης ηλικίας στην οδηγική συμπεριφορά φαίνεται να γενικεύεται και στην ομάδα ελέγχου της μελέτης, η οποία περιελάμβανε τα νοητικά άθικτα άτομα.

Η αστική περιοχή είχε σημαντική αρνητική επίπτωση στην «οδηγική επίδοση», ενώ ο αντίκτυπός της στα «οδηγικά λάθη», στο χρόνο αντίδρασης και στην πιθανότητα ατυχήματος ήταν θετική. Ενδεχομένως, το πιο σύνθετο περιβάλλον της αστικής περιοχής **αύξησε τα επίπεδα προσοχής**, οδηγώντας έτσι σε λιγότερα λάθη οδήγησης, καλύτερους χρόνους αντίδρασης και μικρότερη πιθανότητα ατυχήματος.

Οι κυκλοφοριακές συνθήκες χαμηλού φόρτου επηρέασαν θετικά την «οδηγική επίδοση», ενώ δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στα «οδηγικά λάθη», στο χρόνο αντίδρασης και στην πιθανότητα ατυχήματος, το οποίο ήταν ένα ενδιαφέρον εύρημα. Σε συνθήκες υψηλού κυκλοφοριακού φόρτου, το πολύπλοκο οδικό περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένων **πολλών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των οχημάτων** έχει μια εντελώς αρνητική επίδραση στην οδηγική επίδοση.

Συγκριτική ανάλυση επίδοσης οδηγών με διαφορετικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες

Η τέταρτη καινοτομία της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής παράγεται επίσης από τα βασικά ερευνητικά ερωτήματα και αφορά **τη συγκριτική ανάλυση των επιδόσεων** των οδηγών με διάφορες νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Στο προηγούμενο υποκεφάλαιο, τα τέσσερα ΔΜΕ που περιλαμβάνουν τις τρεις εξεταζόμενες νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες έδειξαν **σημαντικά χειρότερο χρόνο αντίδρασης και «οδηγικές επιδόσεις»** για τους οδηγούς με MCI, AD και PD σε σύγκριση με τους υγιείς μάρτυρες. Επιπλέον, οι κλινικές συνθήκες AD και PD συνδέθηκαν με **αρνητική επιρροή για την πιθανότητα ατυχήματος**.

Πηγαίνοντας ένα βήμα προς τα εμπρός, οι εκτιμήσεις των παραμέτρων των τεσσάρων ΔΜΕ δίνει την ευκαιρία να συγκριθούν οι τρεις εξεταζόμενες νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες μεταξύ τους, όσον αφορά την επιρροή τους στα τέσσερα εξεταζόμενα χαρακτηριστικά οδηγικής συμπεριφοράς. Πρώτον, **η επίδραση των PD και AD είναι πολύ πιο επιζήμια όσον αφορά το χρόνο αντίδρασης**, σε σύγκριση με τις επιπτώσεις της MCI. Ειδικότερα, η PD οδηγεί σε αύξηση 0,38 δευτερολέπτων του χρόνου αντίδρασης, η AD οδηγεί σε αύξηση περίπου 0,33 δευτερολέπτων του χρόνου αντίδρασης και η MCI σε αύξηση 0.1 δευτερολέπτου. Η διαπίστωση αυτή έχει μεγάλη σημασία όσον αφορά την οδική ασφάλεια, επειδή οι υψηλότεροι χρόνοι αντίδρασης είναι πολύ πιθανόν να οδηγήσουν σε μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχήματος.

Πράγματι, προχωρώντας στο επόμενο ΔΜΕ, η συγκριτική ανάλυση των τριών εξεταζόμενων νευρολογικών ασθενειών που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες ακολουθεί το ίδιο μοτίβο. Η MCI δεν είχε καμία σημαντική επίδραση στην πιθανότητα ατυχήματος, ενώ **η AD αύξησε την πιθανότητα ατυχήματος κατά 16% και η PD κατά 10%**. Οι χειρότεροι χρόνοι αντίδρασης των ασθενών με AD και PD οδήγησε σε

μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχήματος. Είναι αξιοσημείωτο ότι, παρόλο που η PD είχε μεγαλύτερη αρνητική επιρροή στο χρόνο αντίδρασης από την AD, η AD οδήγησε σε 1,6 φορές μεγαλύτερη πιθανότητα ατυχήματος από την PD. Αναφορικά με τα οδηγικά λάθη, καμία από τις τρεις εγκεφαλικές παθήσεις δεν είχε σημαντική επίδραση σε αυτά, ενώ **η AD είχε την ισχυρότερη αρνητική επιρροή στην οδηγική επίδοση**, ακολουθούμενη από την MCI, και έπεται η PD.

Συνοψίζοντας, οι τέσσερις συγκριτικές αναλύσεις οδηγικής συμπεριφοράς των οδηγών με διάφορες νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, έδειξαν τους ασθενείς με AD ως **την πιο προβληματική ομάδα των οδηγών με το χειρότερο οδηγικό προφίλ** (μεγαλύτερη επιρροή στην πιθανότητα ατυχήματος και στην οδηγική επίδοση, ενώ είχαν και το μεγαλύτερο χρόνο αντίδρασης), ακολουθούμενη από την PD, ενώ η ομάδα των MCI θεωρείται ασφαλέστερη σε σύγκριση με τις άλλες δύο εξεταζόμενες εγκεφαλικές παθολογίες.

Προσδιορισμός της επιρροής της απόσπασης της προσοχής στην οδηγική επίδοση των ασθενών με εγκεφαλικές παθολογίες

Τέλος, **η πέμπτη καινοτομία** αυτής της Διδακτορικής Διατριβής αφορά την επίδραση της απόσπασης της προσοχής στην οδηγική επίδοση των οδηγών με MCI, AD και PD, διερευνώντας την οδήγηση με ταυτόχρονη συνομιλία με ένα υποτιθέμενο συνεπιβάτη και την οδήγηση με ταυτόχρονη συνομιλία με μια φορητή κινητή συσκευή τηλεφώνου. Η διερεύνηση και ποσοτικοποίηση της επίδρασης της απόσπασης της προσοχής στους οδηγούς με MCI, AD και PD δεν έχει αντιμετωπιστεί μέχρι σήμερα από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα. Φάνηκε ότι οι καταστάσεις απόσπασης της προσοχής σε γενικές γραμμές δεν είχαν τόσο σημαντική επίδραση σε αρκετούς δείκτες οδηγικής επίδοσης στην ομάδα των υγιών οδηγών, σε αντίθεση με τα ευρήματα που προέκυψαν για τις **ομάδες των ασθενών μέσω των αναλύσεων παλινδρόμησης, στις οποίες η επιρροή της απόσπασης της προσοχής και ιδιαίτερα η χρήση του κινητού τηλεφώνου, ήταν ιδιαιτέρως επιζήμια όσον αφορά την οδηγική συμπεριφορά.**

Ειδικότερα, ο χρόνος αντίδρασης των οδηγών με εγκεφαλικές παθολογίες αυξήθηκε περισσότερο από 30%, στην κατάσταση οδήγησης με τη χρήση του κινητού τηλεφώνου, (οι ασθενείς με AD αύξησαν τους χρόνους αντίδρασής τους κατά 50%, εκτοξεύοντάς τους στα 3.5 δευτερόλεπτα), ενώ στην ομάδα των υγιών, η αντίστοιχη αύξηση ήταν περίπου 10%. Επιπλέον, η ομάδα των οδηγών με νευρολογικές ασθένειες

που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες είχε **μια εντυπωσιακή αύξηση του κινδύνου να εμπλακούν σε ατύχημα ενώ χρησιμοποιούσαν το κινητό τηλέφωνο** (στους ασθενείς με AD και PD υπήρχε πάνω από 30% πιθανότητα ατυχήματος). Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε το προαναφερθέν μοτίβο των ευρημάτων, παρά το γεγονός ότι οι οδηγοί με νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες προσπάθησαν να προσαρμόσουν τη συμπεριφορά οδήγησής τους, μειώνοντας σε σημαντικό βαθμό την ταχύτητα οδήγησης και την χρονοαπόσταση κατά τη χρήση του κινητού τηλεφώνου.

Από την άλλη πλευρά, η ομάδα ελέγχου δεν επηρεάστηκε από την απόσπαση της προσοχής με κινητό τηλέφωνο. Επίσης, **η συνομιλία με συνεπιβάτη είχε αντίκτυπο** στην οδηγική επίδοση των ασθενών, **αλλά μικρότερης κλίμακας** σε σύγκριση με την περίπτωση της χρήσης του κινητού τηλεφώνου. Ειδικότερα, στο πλαίσιο αυτής της συνθήκης οδήγησης υπήρχε μια όξυνση της διαφοράς στο χρόνο αντίδρασης και στην πιθανότητα ατυχήματος μεταξύ της ομάδας των ασθενών και των νοητικά ανέπαφων συμμετεχόντων, αλλά μόνο για τις ομάδες MCI και PD σε αστική περιοχή. Συνολικά, η συνομιλία με συνεπιβάτη δε φαίνεται να έχει αρνητικές συνέπειες στην πλειονότητα των εξετασθέντων συνθηκών οδήγησης.

Το οδηγικό προφίλ των ατόμων με νευρολογικές ασθένειες που προσβάλλουν τις νοητικές λειτουργίες, σύμφωνα με τα αποτελέσματα αυτά, **άλλαξε ριζικά υπό την πιο απαιτητική κατάσταση οδήγησης που περιλαμβάνει τη χρήση του κινητού τηλεφώνου**. Συμπεραίνεται ότι η παράλληλη εκτέλεση δύο εργασιών, δηλαδή της οδήγησης και της χρήσης ενός κινητού τηλεφώνου, **τοποθετεί την ομάδα των οδηγών με εγκεφαλικές παθήσεις σε ιδιαίτερα ευάλωτη θέση**, λόγω της ανάγκης διαίρεσης της προσοχής τους (κάτι στο οποίο έχουν δυσκολία) στο πλαίσιο αυτής της απαιτητικής συνθήκης οδήγησης. Σύμφωνα με αυτήν την προσέγγιση, η οδηγική κατάσταση με συνομιλία με συνεπιβάτη, που είναι μέτριας δυσκολίας και απαιτεί επίσης από τους οδηγούς ένα ορισμένο επίπεδο διαίρεσης της προσοχής, είχε αυξημένη αρνητική επιρροή στην οδηγική επίδοση των ατόμων με AD και PD, αλλά σε μικρότερο βαθμό συγκριτικά με την περίπτωση του κινητού τηλεφώνου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στην κατάσταση οδήγησης με τη συνομιλία με κινητό τηλέφωνο, οι οδηγοί με MCI, AD και PD εφαρμόσαν αντισταθμιστική στρατηγική για τη μείωση της ταχύτητας τους, αλλά σε αυτή την περίπτωση το αποτέλεσμα δεν ήταν επιτυχές, όπως φαίνεται από την έντονη αύξηση της πιθανότητας ατυχήματος.

Μελλοντική έρευνα

Στην παρούσα Διδακτορική Διατριβή αναπτύχθηκε μια πρωτότυπη μεθοδολογική και στατιστική ιδέα για την ανάλυση της επίδρασης των νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, των οδικών και κυκλοφοριακών χαρακτηριστικών και της απόσπασης της προσοχής του οδηγού στην οδηγική συμπεριφορά. Η εφαρμογή αυτής της μεθοδολογίας αποκάλυψε επίσης μια σειρά ανοιχτών θεμάτων για περαιτέρω έρευνα στον διεπιστημονικό τομέα της οδηγικής συμπεριφοράς και των εγκεφαλικών παθολογιών.

Πρώτον, σε μελλοντικές έρευνες θα μπορούσε να ενισχυθεί το μέγεθος του δείγματος **όσον αφορά τον πληθυσμό** (περισσότεροι συμμετέχοντες με MCI, AD και PD), **όσον αφορά το είδος των νευρολογικών παθήσεων** που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες (συμμετέχοντες με REM διαταραχή συμπεριφοράς ύπνου, μετωποκροταφική άνοια, εγκεφαλικό επεισόδιο, σκλήρυνση κατά πλάκας κ.λ.π. έχουν μεγάλο ενδιαφέρον όσον αφορά την οδηγική συμπεριφορά τους και θα μπορούσαν να εισαχθούν στην έρευνα) και **όσον αφορά την τοποθεσία και την προέλευση** (οι οδηγοί MCI, AD και PD στην Ελλάδα μπορεί έχουν διαφορές στην οδηγική συμπεριφορά συγκρινόμενοι με οδηγούς των ίδιων παθήσεων του εγκεφάλου που ζουν σε άλλες χώρες).

Επιπλέον, θα είχε ενδιαφέρον μια μελλοντική έρευνα που θα **αξιολογεί περιοδικά** την οδηγική συμπεριφορά των ασθενών με εγκεφαλικές παθήσεις σε βάθος χρόνου (π.χ. πείραμα προσομοιωτή οδήγησης σε συνδυασμό με νευρολογικές και νευροψυχολογικές αξιολογήσεις, κάθε χρόνο), προκειμένου **να προσδιοριστεί σε ποιο βαθμό η εξέλιξη της νόσου επιδεινώνει τους διάφορους οδηγικούς δείκτες**.

Η πρωτοποριακή μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία αποτελείται από την εφαρμογή των ΔΜΕ βασιζόμενη στη δημιουργία λανθανουσών (μη παρατηρούμενων) μεταβλητών, θα μπορούσε να αναπτυχθεί περαιτέρω και να εφαρμοστεί και σε άλλα πιθανώς γενικότερα επιστημονικά πεδία οδηγικής συμπεριφοράς. Επίσης μπορεί να εκτιμηθεί η επιρροή πολλών **άλλων παραμέτρων οδήγησης, ιατρικών και νευροψυχολογικών** στο χρόνο αντίδρασης, στην πιθανότητα ατυχήματος, στις οδηγικές επιδόσεις, και στα λάθη των οδηγών με εγκεφαλικές διαταραχές, καθώς και άλλων δημογραφικών χαρακτηριστικών όπως το φύλο, το μορφωτικό επίπεδο, και η οδηγική εμπειρία. Επίσης, **θα μπορούσαν να αναπτυχθούν και να διερευνηθούν περισσότερες λανθάνουσες μεταβλητές**, ανάλογα με τη βάση δεδομένων και τα ειδικά ερευνητικά ερωτήματα.

Τέλος, θα πρέπει να αναπτυχθεί αυτή η καινοτόμα μεθοδολογία σε διαφορετικούς τύπους αξιολόγησης της συμπεριφοράς των οδηγών με νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Πιο συγκεκριμένα, όπως η εφαρμογή των ΔΜΕ χρειάζεται ένα μεγάλο όγκο δεδομένων με αρκετές παραμέτρους, τα ΔΜΕ μπορούν **να αναπτυχθούν σε μελέτες έρευνας πεδίου και σε μελέτες πραγματικής οδήγησης στο δρόμο** προκειμένου να εκτιμηθεί η επιρροή των παραγόντων κινδύνου απευθείας στη συνολική οδηγική επίδοση και συμπεριφορά κυκλοφορίας και ασφάλειας των ασθενών με MCI, AD ή PD.

Μελλοντικές προκλήσεις

Τα οφέλη από την παρούσα Διδακτορική Διατριβή είναι **και επιστημονικά και κοινωνικοοικονομικά**. Τα επιστημονικά οφέλη αφορούν τη βελτίωση της υπάρχουσας γνώσης για τους μηχανισμούς μειωμένης οδηγικής επίδοσης και της οδηγικής επίδοσης σε απρόσμενα συμβάντα, καθώς και τις μεθοδολογίες για το σχεδιασμό και τη διεξαγωγή πειραμάτων σε προσομοιωτή. Τα κοινωνικοοικονομικά οφέλη αφορούν τη βελτίωση της οδικής ασφάλειας, που θα πρέπει να επιτευχθεί μόλις οι μηχανισμοί προβληματικής οδηγικής συμπεριφοράς λόγω νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες γίνουν καλύτερα και βαθύτερα κατανοητοί και αντιμετωπιστούν καταλλήλως.

Τα αποτελέσματα αυτής της Διδακτορικής Διατριβής μπορούν **να αξιοποιηθούν για την ανάπτυξη συστάσεων και μέτρων για την αντιμετώπιση** όλων των πτυχών της προβληματικής οδήγησης λόγω νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες, όπως ο έγκαιρος εντοπισμός του προβλήματος, η αποτελεσματικότητα των μέτρων βελτίωσης της οδηγικής συμπεριφοράς των ηλικιωμένων και των ατόμων με εγκεφαλικές διαταραχές, η εκπαίδευση και τα προγράμματα κατάρτισης για ασφαλή οδήγηση και αντιμετώπιση απρόσμενων συμβάντων, τα ειδικά μέτρα για συγκεκριμένες ομάδες υψηλού κινδύνου και τα ιατρικά και νευρολογικά κριτήρια για την ασφαλή οδήγηση και η παρακολούθηση των «επικίνδυνων» οδηγών.

Μελλοντικός στόχος είναι η βελτίωση της οδηγικής επίδοσης των προβληματικών οδηγών γενικά, αλλά και σε απρόσμενα συμβάντα ειδικότερα, καθώς και **η προώθηση της γνώσης** των καταστάσεων οδήγησης που θα πρέπει να αποφεύγεται από άτομα που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες. Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα της Διδακτορικής Διατριβής, εκτός από έρευνα στους τομείς της οδικής ασφάλειας και της ιατρικής/νευρολογίας, είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος και στις ακόλουθες ομάδες:

- » **Στους ιθύνοντες της οδικής ασφάλειας** που εμπλέκονται στις διαδικασίες εκπαίδευσης των οδηγών, τη χορήγηση αδειών και την αξιολόγησή τους.
- » **Στους νευρολόγους ή άλλους επαγγελματίες** που εμπλέκονται στη θεραπεία, παρακολούθηση και αξιολόγηση των ατόμων με νευρολογικές παθήσεις που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες.
- » **Στις οικογένειες των ηλικιωμένων** και των ατόμων με εγκεφαλικές παθήσεις, (ιδίως μέσω δημόσιων εκστρατειών, της διάχυσης των πληροφοριών κ.λ.π.).

Ο προσδιορισμός επιτυχημένων έγκαιρων προβλεπτικών παραμέτρων της οδηγικής ικανότητας σε άτομα με AD στα αρχικά στάδια ή MCI θα επιτρέψει την ανάπτυξη κατευθυντήριων γραμμών και εθνικών πολιτικών πρακτικών βελτίωσης της οδικής ασφάλειας (Παπαγεωργίου, 2016). Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι **κάθε οδηγός με νευρολογική ασθένεια που επηρεάζει τις εγκεφαλικές λειτουργίες θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ξεχωριστά, μέσα από μια σύγχρονη διεπιστημονική αξιολόγηση οδήγησης** συμπεριλαμβανομένων των ιατρικών, νευρολογικών και νευροψυχολογικών κριτηρίων για την ασφαλή οδήγηση και την αξιολόγηση φυσικά της οδηγικής επίδοσης μέσα από πειράματα σε προσομοιωτή οδήγησης, ή σε πειράματα στο δρόμο σε πραγματικές οδηγικές συνθήκες. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι σε θετική κατεύθυνση **μια αποτελεσματική παρακολούθηση** των οδηγών που βρίσκονται σε κίνδυνο για την ανάπτυξη μιας υποκείμενης νευρολογικής πάθησης, που σχετίζεται με μη ασφαλή οδήγηση και την ανάπτυξη παρεμβάσεων, που έχουν την ικανότητα να βελτιώσουν, ή να διατηρήσουν την καταλληλότητα για οδήγηση των ηλικιωμένων ατόμων και των οδηγών με εγκεφαλικές παθήσεις.

Εν κατακλείδι, τα αποτελέσματα της παρούσας Διδακτορικής Διατριβής μπορούν εν δυνάμει να συνεισφέρουν σε σημαντική μείωση των οδικών ατυχημάτων και θανάτων, εάν **τα δεδομένα και τα αποτελέσματα αξιοποιηθούν κατάλληλα από τις αρχές προκειμένου να εφαρμόσουν τις κατάλληλες πολιτικές πρακτικές για την οδική ασφάλεια**, όσον αφορά την ευάλωτη ομάδα οδηγών με νευρολογικές ασθένειες που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες. Καλύτερη κατανόηση των ιατρικών, και κοινωνικών θεμάτων και θεμάτων συμπεριφοράς, που σχετίζονται με μειωμένη οδηγική ικανότητα λόγω νευρολογικών παθήσεων που επηρεάζουν τις νοητικές λειτουργίες θα οδηγήσει σε ειδική εκπαίδευση των οδηγών και χορήγηση αδειών οδήγησης, σε πιο συγκεκριμένα και αυστηρά κριτήρια για την ανανέωση της άδειας οδήγησης για τα άτομα που ανήκουν στις αυτές ευπαθείς ομάδες, σε καταλληλότερη νομοθεσία, καθώς και εκστρατείες ευαισθητοποίησης του πληθυσμού.