

Διερεύνηση της σχέσης μεταξύ μνήμης εργασίας και της νόσου του Πάρκινσον σε προσομοιωτή οδήγησης

Σοφία Βαρδάκη¹, Γιώργος Γιαννής¹, Κώστας Αντωνίου¹,
Δημοσθένης Παύλου¹, Ίων Μπεράτης², Νικόλαος Ανδρονάς², Σωκράτης Παπαγεωργίου²

¹Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

²Εθνικό Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα

e-mail: sophiav@central.ntua.gr

Περίληψη

Με χρήση προσομοιωτή οδήγησης διερευνήθηκε πόσον οι απαιτήσεις του έργου οδήγησης στα επίπεδα ελέγχου και ελιγμών επηρεάζουν διαφορετικά υγιείς οδηγούς έναντι οδηγών με νόσο του Πάρκινσον (PD) ίδιας ηλικίας στην ανάκληση μηνύματος αναγραφόμενου σε πινακίδα σήμανσης. Στην έρευνα συμμετείχαν μια ομάδα οδηγών με νόσο του Πάρκινσον και μια ομάδα οδηγών χωρίς διάγνωση παθολογικών καταστάσεων, ηλικίας μεταξύ 50 και 70 ετών. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, οι οδηγοί της ομάδας ελέγχου ήταν πιο πιθανό να έχουν καλύτερες επιδόσεις από τους οδηγούς με PD σε δοκιμασία ανάκλησης πληροφοριών (μηνύματος) από πινακίδα σήμανσης, αλλά η τάση αυτή δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Επίσης, ανεξάρτητα από την ομάδα στην οποία ανήκαν, οι επιδόσεις των οδηγών διέφεραν ανάλογα με τις απαιτήσεις του έργου οδήγησης. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν στην παρούσα εργασία, είναι ενθαρρυντικά σε σχέση με τη χρήση προσομοιωτή οδήγησης για τον εντοπισμό διαφορών που σχετίζονται με ιατρικές παθήσεις.

Λέξεις-κλειδιά: οδική ασφάλεια, συμπεριφορά οδηγού, προσομοίωση οδήγησης, νόσος του Πάρκινσον, μνήμη εργασίας, ανάκληση μηνύματος, ικανότητα οδήγησης, αξιολόγηση ικανότητας οδήγησης, ηλικιωμένοι οδηγοί

Investigation of the relationship between working memory and Parkinson's disease in a driving simulator

Vardaki S¹, Yannis G¹, Antoniou C¹,
Pavlou D.¹, Beratis I.², Andronas N², Papageorgiou S.²

¹National Technical University of Athens

²National and Kapodistrian University of Athens

e-mail: sophiav@central.ntua.gr

Abstract

With the use of a driving simulator we explored whether varying levels of operational and tactical driving task demand would differentially affect healthy drivers versus age matched drivers with Parkinson's disease (PD) in their message recall. Two groups of drivers aged between 50 and 70 years participated in the comprising a group of drivers diagnosed with Parkinson's disease and a control group of drivers with no pathological conditions. Results suggest that drivers of the control group were more likely to perform better than PD drivers in a sign recall task, but this trend was not statistically significant; also, subjects' performance differed according to varying levels of task demand. Although the conclusions drawn from this study are preliminary, the evidence presented here is encouraging with regard to the use of a driving simulator to identify performance differences related to medical conditions.

Keywords: road safety, driver behavior, driving simulator; Parkinson's disease, working memory, sign recall, fitness-to-drive, driving performance assessment, older drivers

1.Εισαγωγή

Η ικανότητα οδήγησης μπορεί να επηρεαστεί από την εξασθένηση διαφόρων κινητικών, οπτικών, αντιληπτικών και γνωστικών ικανοτήτων που σχετίζονται με την κανονική γήρανση ή προκαλούνται από νευρολογικές διαταραχές όπως το εγκεφαλικό επεισόδιο, η νόσος του Πάρκινσον, η νόσος του Alzheimer, και η σκλήρυνση κατά πλάκας, οι οποίες είναι περισσότερο διαδεδομένες μεταξύ των ηλικιωμένων ατόμων (Akinwuntan, 2012). Είναι ευρέως αποδεκτό ότι η ηλικία και η ιατρική διάγνωση δεν έχουν επαρκή αξιοπιστία για την πρόβλεψη της ασφάλειας των οδηγών και των ατυχημάτων τους. Επιπλέον, για τον προσδιορισμό της ικανότητας οδήγησης ο κύριο ζήτημα είναι οι μειωμένες οπτικές, αντιληπτικές-γνωστικές και σωματικές ικανότητες και όχι η χρονολογική ηλικία ή οι διαγνωσμένες ιατρικές παθήσεις που ενδέχεται να έχει προκαλέσει μια λειτουργική απώλεια (Staplin et al., 2003, Uc και Rizzo, 2011). Οι προσομοιωτές οδήγησης θεωρούνται ένα πολλά υποσχόμενο εργαλείο για την αξιόπιστη και ασφαλή αξιολόγηση της ικανότητας για την οδήγηση στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, ιδιαίτερα σε άτομα με απώλεια στις λειτουργικές ικανότητες που απαιτούνται για την ασφαλή οδήγηση λόγω των σωματικών ή νευρολογικών παθήσεων (Singh et al., 2011, Hakamies και Peters, 2000).

Έρευνες έχουν δείξει ότι η επίδοση στον προσομοιωτή συνδέεται με την απόδοση σε δοκιμασίες οδήγησης επί της οδού (Ball και Ackerman, 2011). Οι προσομοιωτές οδήγησης έχουν επιτρέψει μια καλύτερη κατανόηση των λαθών στην οδήγηση και των σχέσεών τους με το είδος και τον βαθμό της λειτουργικής εξασθένησης, επιτρέποντας στους ερευνητές να διακρίνουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των ατόμων χωρίς νευρολογικές παθήσεις και των ατόμων με νευροεκφυλιστικές διαταραχές, συμπεριλαμβανομένης της νόσου του Πάρκινσον και της νόσου του Alzheimer (UC και Rizzo, 2011). Οι κύριοι προσδιοριστικοί παράγοντες της επίδοσης στην οδήγηση και της ασφάλειας των οδηγών με νόσο του Πάρκινσον είναι οι διαταραχές στη γνωστική λειτουργία και στην οπτική αντίληψη. Σε μια έρευνα διερεύνησης της εγκυρότητας (Devos et al., 2013; Devos et al., 2007) μιας σειράς νευροψυχολογικών δοκιμασιών στην πρόβλεψη της (απόφασης) σχετικά με την ικανότητα οδήγησης (fitness to drive) σε οδηγούς με PD, με την ένταξη της οδήγησης προσομοίωσης στις δοκιμασίες γνωστικών ικανοτήτων αυξάνεται η ακρίβεια του κλινικού μοντέλου. Το αποτέλεσμα αυτό υποδηλώνει σύνδεση μεταξύ επιδόσεων οδήγησης σε συνθήκες προσομοίωσης και επιδόσεων σε πραγματικές συνθήκες (δοκιμασία επί της οδού) για τους ασθενείς με PD. Σε μια άλλη διερεύνηση της εγκυρότητας ενός προσομοιωτή-H/Y στην αξιολόγηση οδήγησης (Lee et al., 2007), παρατηρήθηκε ότι οδηγοί με PD είχαν την τάση να οδηγούν πιο αργά κατά την αντίδρασή τους σε κινδύνους και είχαν προβλήματα στον έλεγχο της ταχύτητας και στον έλεγχο του τιμονιού, στην ομαλή πέδηση, στην ταυτόχρονη επιτέλεση δύο ενεργειών, καθώς και στην κρίση τους και στη λήψη γρήγορων αποφάσεων. Αυτά τα προβλήματα μπορεί να συνδέονται με μείωση στις κινητικές δεξιότητες, στην οπτικο-χωρική επεξεργασία, στη μνήμη εργασίας και στην εκτελεστική λειτουργία του προγραμματισμού (planning). Οι συγγραφείς κατέληξαν στο συμπέρασμα από τα ευρήματα της μελέτης ότι οι προσομοιωτές οδήγησης μπορεί να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την ικανότητα οδήγησης σε οδηγούς με PD.

Οι προσομοιωτές οδήγησης διαφέρουν ως προς τα χαρακτηριστικά τους, δηλαδή κινούμενη έναντι σταθερής βάσης, διαδραστικότητα, ανάλυση και οπτικό πεδίο, καθώς και στην εγκυρότητά τους έναντι της πραγματικής επί της οδού οδήγησης (UC και Rizzo, 2008). Διαφορετικοί προσομοιωτές θέτουν διαφορετικούς τεχνολογικούς περιορισμούς στους ερευνητές, καθιστώντας αδύνατη την ακριβή "αναπαράσταση" της πραγματικότητας (Rizzo, 2011, Vardaki et al., 2013).

Υπάρχουν ορισμένες γνωστικές λειτουργίες που είναι απαραίτητες για την ασφαλή οδήγηση οι οποίες μπορεί να μελετηθούν αποτελεσματικά χρησιμοποιώντας προσομοιωτές παρά τους προαναφερθέντες περιορισμούς. Η μνήμη εργασίας είναι μια γνωστική ικανότητα καίριας

σημασίας για την οδήγηση. Επιτρέπει στον οδηγό να θυμάται και να εφαρμόζει όταν απαιτείται, οδηγίες πλοήγησης και κανόνες κυκλοφορίας, ενώ ταυτόχρονα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του ελέγχου του οχήματος και στην πρόβλεψη και στην πρόληψη των συγκρούσεων (Staplin, 2012, Staplin et al., 2003). Οι εκτελεστικές λειτουργίες συμπεριλαμβανομένης της λήψης αποφάσεων, της αναστολής (ελέγχου των παρορμήσεων), της κρίσης, της εναλλαγής εργασιών και του προγραμματισμού των ενεργειών, αλληλεπιδρούν με τη μνήμη εργασίας, και με την προσοχή, η οποία με τη σειρά της λειτουργεί με βάση τα περιεχόμενα της μνήμης εργασίας (Rizzo, 2011). Η ικανότητα του οδηγού να θυμάται τις κατευθύνσεις και τις πληροφορίες από τη σήμανση και τα άλλα μέσα ελέγχου κυκλοφορίας είναι σημαντική για την αποφυγή της σύγχυσης η οποία μπορεί να οδηγήσει σε ατύχημα. Οι οδηγοί με προβλήματα μνήμης εργασίας είναι πιθανό να χαθούν, ή να μην ανταποκριθούν σωστά σε ασυνήθεις ή απρόσμενες καταστάσεις στην κυκλοφορία. Επιπλέον, η έρευνα έχει δείξει ότι η (σχετιζόμενη με την ηλικία) εξασθένηση της μνήμης εργασίας είναι ένας σημαντικός δείκτης πρόγνωσης των ατυχημάτων με υπαιτιότητα (Ball et al., 2006, Staplin et al., 2003).

Στην παρούσα έρευνα διερευνάται εάν οι διαφορετικές απαιτήσεις του έργου οδήγησης (στα επίπεδα του ελέγχου και ελιγμών κατά Michon), μπορεί να επηρεάσουν διαφορετικά οδηγούς με νόσο του Πάρκινσον έναντι μιας ομάδας (ελέγχου) χωρίς διαγνωσμένες παθολογικές παθήσεις στην ικανότητα ανάκλησης μηνύματος σε πινακίδα σήμανσης.

2. Μέθοδος Έρευνας

2.1 Οι συμμετέχοντες

Η παρούσα έρευνα διεξήχθη στον Τομέα Μεταφορών και Συγκοινωνιακής Υποδομής της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ), με χρήση προσομοιωτή οδήγησης FOERST -FPF. Ο προσομοιωτής οδήγησης αποτελείται από 3 οθόνες LCD, 40" η κάθε μία, με κάθισμα και χειριστήρια, και βάση στήριξης. Η ανάλυση οθόνης για τις οθόνες LCD ήταν full HD (1920x1080pixels). Η παρούσα έρευνα ήταν μέρος ενός μεγαλύτερου πειράματος προσομοιωτή οδήγησης που περιγράφεται στο Yannis et al. (2013), από το οποίο αντλήθηκαν οι συμμετέχοντες. Όλοι οι οδηγοί που συμμετείχαν στην έρευνα είχαν άδεια οδήγησης σε ισχύ, και έπρεπε να πληρούν ορισμένα κριτήρια: να έχουν εμπειρία οδήγησης περισσότερα από 3 χρόνια, να έχουν οδηγήσει πάνω από 2.500 χιλιόμετρα κατά τη διάρκεια του τελευταίου έτους, να έχουν οδηγήσει τουλάχιστον μία φορά την εβδομάδα και να έχουν διανύσει τουλάχιστον 10 km / εβδομάδα κατά τη διάρκεια του τελευταίου έτους, να έχουν στην κλινική εκτίμηση της άνοιας CDR score <2, να μην έχουν ιστορικό ψύχωσης, να μην έχουν οποιαδήποτε σημαντική κινητική διαταραχή που τους εμποδίζει στις βασικές κινήσεις οδήγησης, να μην υποφέρουν από ζάλη ή ναυτία κατά την οδήγηση, είτε ως οδηγός είτε ως επιβάτης, να μην υπάρχει εγκυμοσύνη, να μην είναι αλκοολικοί ή να έχουν οποιαδήποτε εξάρτηση από ουσίες, να μην έχουν οποιαδήποτε σημαντική διαταραχή της όρασης που τους αποτρέπει από την ασφαλή οδήγηση, και να μην έχουν οποιαδήποτε ασθένεια του κεντρικού νευρικού συστήματος.

Στην παρούσα έρευνα πήραν μέρος δύο ομάδες των οδηγών, μια ομάδα οδηγών με τη νόσο του Πάρκινσον (PD) και μια ομάδα ελέγχου (C). Στην ομάδα PD περιλαμβάνονταν 10 άτομα με μέση ηλικία 62.2 έτη (sd = 8.4), όλοι άνδρες. Η ομάδα ελέγχου (μάρτυρες) αποτελείτο από 10 άτομα, 7 άνδρες και 3 γυναίκες, οι οποίοι αξιολογήθηκαν ιατρικώς και βρέθηκαν χωρίς καμία παθολογική κατάσταση, με μέση ηλικία 57,6 έτη (sd = 5.1). Στον Πίνακα 1, παρουσιάζονται οι συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων σε ηλικία, εμπειρία οδήγησης, δραστηριότητα (exposure) οδήγησης (αριθμός ημερών και χιλιομέτρων ανά εβδομάδα), έτη της εκπαίδευσης, σύνολο των ατυχημάτων και ατυχημάτων κατά τα τελευταία δύο χρόνια, και το CDR score. Η διαφορά στην ηλικία μεταξύ των δύο ομάδων δεν ήταν στατιστικά σημαντική στο επίπεδο 0.05 ($p = 0.247$). Οι δύο ομάδες δεν ήταν στατιστικά διαφορετικές

από την άποψη του φύλου, της εμπειρίας οδήγησης, της συχνότητας της οδήγησης (αριθμός των ημερών που οδηγούν την εβδομάδα), των ετών εκπαίδευσης και του αριθμού των ατυχημάτων εντός των τελευταίων δύο ετών που είχαν δηλώσει (Πίνακας 1). Στατιστικές διαφορές μεταξύ των δύο ομάδων βρέθηκαν στον αριθμό των χιλιομέτρων που διανύονται ανά εβδομάδα ($p = 0.035$) και στον δηλωμένο αριθμό των ατυχημάτων που είχαν συνολικά ($p = 0.029$) (Πίνακας 1). Οι οδηγοί με PD είχαν ήπια έως μέτρια βαρύτητα της νόσου, όπως υποδεικνύεται από τους δείκτες αξιολόγησης της βαρύτητας τη; νόσου (UPDRS score, Hoehn & Yahr stage) (Πίνακας 1). Όλα τα άτομα πριν από τη συμμετοχή τους στο πείραμα προσομοίωσης της οδήγησης, υποβλήθηκαν σε μια σειρά από νευροψυχολογικά τεστ στο Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο ΑΤΤΙΚΟΝ. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι συγκρίσεις μεταξύ των ομάδων στην απόδοσή τους σε μια σειρά νευροψυχολογικών δοκιμασιών.

Πίνακας 1: Σύγκριση των ασθενών με PD και της ομάδας ελέγχου (χωρίς νευρολογικές παθήσεις) σε διάφορα δημογραφικά στοιχεία με τη χρήση του Wilcoxon Rank Sum Test

	Ομάδα PD	Ομάδα Ελέγχου	P-values
Ηλικία, έτη, mean±SD(median)	62.2±8.4(66)	57.6±5.1(58)	0.247
Φύλο, n, M/F	10, 10/0	10, 7/3	0.280
Εμπειρία οδήγησης, y, mean±SD (median)	37.3±6.8 (37)	33.9±4.3 (35)	0.218
Ημέρες οδήγησης/εβδομάδα, median (range)	4(2-7)	5 (2-7)	0.143
Διανυόμενα χιλιόμετρα/εβδομάδα ^b , median (range)	3 (1-3)	3(2-5)	0.035 ^a
Ατυχήματα τα τελευταία 2 χρόνια, median (range)	0 (0-0)	0 (0-0)	1.000
Ατυχήματα (συνολικά), median (range)	1 (0-4)	2 (1-8)	0.029 ^a
Εκπαίδευση, , έτη, median (range)	13.7±3.1(14)	14.1±3.5(16)	0.684
CDR ^c	0.06±0.17(0-0.5)	0	1.000
Δείκτης της νόσου (PD)(n=10) UPDRS ^d	12.9±9.2(3-29)		
H&Y ^e	1.90±0.57(1-3)		
Dopa equivalent dosage (mg/day)	575±313(150-1150)		

^aΣτατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων σε επίπεδο 0.05

^b 1=1-20km; 2=21-50km; 3=50-100km; 4=100-150 and 5=>150

^cClinical Dementia Rating

^dUnified Parkinson's disease Rating Scale – motor scores

^eHoehn&Yahr stage

Στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ των ομάδων βρέθηκαν στις εξής δοκιμασίες: Frontal Assessment Battery (FAB) (αξιολόγησης επιτελικών-εκτελεστικών λειτουργιών), Hopkins Verbal Learning Test-Immediate Recall Total Score (HVLT-Total) αξιολόγησης άμεσης ανάκλησης λεκτικού υλικού, Spatial Addition Test αξιολόγησης ενεργού μνήμης (μνήμης εργασίας), Symbol Digit Modalities Test (SDMT) αξιολόγησης ταχύτητας επεξεργασίας πληροφοριών, Useful Field of View Subtest 3 (UFV3) αξιολόγησης επιλεκτικής προσοχής. Η συνδυασμένη επίδοση στις δοκιμασίες αυτές δείχνει ότι η ομάδα με τους οδηγούς με τη νόσο του Πάρκινσον σε σχέση με τους οδηγούς της ομάδας ελέγχου έχει δυσκολίες σε δοκιμασίες μνήμης γεγονότων, καθώς και σε λειτουργίες προσοχής, επιτελικές-εκτελεστικές λειτουργίες και στην μνήμη εργασίας (ενεργού μνήμης).

Πίνακας 2: Σύγκριση των ασθενών με νόσο του Πάρκινσον και της ομάδας ελέγχου σε ένα ευρύ φάσμα νευροψυχολογικών δοκιμών με τη χρήση του Wilcoxon Rank Sum Test

	Ομάδα PD	Ομάδα Ελέγχου	P-values
MMSE 4	28.4±1.88	29.40±.84	.163
Frontal assessment battery(FAB)	12.89±3.30	17.00±.30	<.001 ^a
ImmediateRecall_HopkinsTotal	19.22±2.82	23.60±4.90	.037 ^a
HopkinsDelayedRecall	5.56±2.56	6.90±3.14	.549
LNS ^b	8.00±3.87	10.10±1.56	.211
Spatial Addition Test	7.22±3.07	14.40±4.12	.001 ^a
SDMT ^c	31.33±10.20	47.20±9.08	.001 ^a
TMT-A ^d	54.78±34.23	38.60±10.47	.191
TMT-B ^e	164.67±99.67	95.70±32.14	.141
UFV1 ^f	354375±169646	263700±164370	.209
UFV2 ^g	1946250±1653138	643700±529057	.099
UFV3 ^h	3167125±1249620	3073700±4927899	.023 ^a
Driving Scenes Test	40.50±12.58	45.70±6.13	.154

^aΣτατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων σε επίπεδο 0.05

^bLetter Number Sequencing

^cSymbol Digit Modalities Test

^dTrail Making Test Part A

^eTrail Making Test Part B

^fUseful Field of View Subtest 1

^gUseful Field of View Subtest 2

^hUseful Field of View Subtest 3

2.2. Διαδικασία

Οι οδηγοί με PD πήραν μέρος στο πείραμα σε περιόδους που τα συμπτώματά τους ήταν υπό βέλτιστο έλεγχο. Οι ερευνητές του πειράματος στον προσομοιωτή δεν γνώριζαν τα αποτελέσματα των νευροψυχολογικών δοκιμασιών. Οι συμμετέχοντες απέκτησαν έναν βαθμό εξοικείωσης με τον προσομοιωτή μετά από τη συμμετοχή τους σε προηγούμενο πείραμα που διήρκεσε περίπου 45 λεπτά, μετά το οποίο είχαν ένα διάλειμμα ανάπαυσης τουλάχιστον 15 λεπτά πριν τη συμμετοχή τους στην παρούσα έρευνα. Η προηγούμενη εμπειρία επέτρεψε στους συμμετέχοντες να ασκήσουν όλες τις οδηγικές τους ικανότητες και επίσης ήταν ουσιαστικά μια εξέταση του συνδρόμου προσαρμογής στον προσομοιωτή (SAS). Κανένας οδηγός της παρούσας έρευνας δεν εμφάνισε το σύνδρομο.

Το πείραμα ολοκληρώθηκε σε μια μόνο πειραματική συνεδρία και περιελάμβανε τρεις συνθήκες-δοκιμασίες, TC1 και TC2 και TC3, διάρκειας περίπου δύο λεπτών η κάθε μία. Στο πείραμα μετρήθηκε η επίδραση στην ανάκληση πληροφοριών σε πινακίδα σήμανσης των διαφορετικών επιπέδων απαίτησης οδήγησης που μεσολάβησαν μεταξύ της παρουσίας μηνύματος και της ανάκλησης πληροφοριών από τους οδηγούς με PD και τους οδηγούς της ομάδας ελέγχου (C). Το χρονικό διάστημα ανάμεσα στην παρουσίαση και την ανάκληση του μηνύματος ασφαλείας ήταν περίπου ισοδύναμο στις τρεις συνθήκες (100sec). Τα μηνύματα – ένα για κάθε δοκιμασία εμφανίζονται στους οδηγούς, πριν αρχίσουν την οδήγηση σε κάθε μία από τις τρεις συνθήκες. στην οθόνη του προσομοιωτή σε απεικόνιση πινακίδας σήμανσης. Τα μηνύματα σε όλες τις δοκιμασίες εμφανίζονταν για ένα σταθερό χρονικό διάστημα (~ 8 sec), το οποίο ήταν σταθερό για όλους τους συμμετέχοντες (Campbell et al., 2012).

Πριν από κάθε μία από τις τρεις δοκιμασίες στον προσομοιωτή, σε κάθε οδηγό δίνονταν συγκεκριμένες οδηγίες: να ανταποκριθεί στις πληροφορίες ελέγχου κυκλοφορίας και πάντα να διατηρεί ασφαλείς αποστάσεις από τα άλλα οχήματα όπως ακριβώς θα έκανε σε συνθήκες πραγματικής οδήγησης. Σύμφωνα με τις οδηγίες οι οδηγοί θα έπρεπε να διατηρούν μια σταθερή ταχύτητα κοντά στο μέγιστο όριο ταχύτητας, εκτός και αν αντιμετώπιζαν οδικές συνθήκες τέτοιες που θα έπρεπε να μειώσουν την ταχύτητα για να αποφευχθεί ο κίνδυνος ατυχήματος. Σε αυτήν την περίπτωση θα έπρεπε να οδηγήσουν με "τη μέγιστη ασφαλή ταχύτητα για τις συνθήκες". Στους οδηγούς ο πειραματιστής έδινε επίσης την εξής οδηγία: "Εάν στο προπορευόμενο όχημα ενεργοποιηθούν τα φώτα πέδησης μετά από αλλαγή λωρίδας κυκλοφορίας, θα πρέπει να το ακολουθήσετε και να αλλάξετε λωρίδα και εσείς. Εάν το όχημα

αλλάξει λωρίδα χωρίς ενεργοποίηση των φώτων πέδησης να παραμείνετε στη δική σας λωρίδα." Η τελευταία εντολή ήταν: "Θα σας δείξω μια πινακίδα με ένα μήνυμα. Παρακαλώ διαβάστε το δυνατά. Θα σας ζητήσω να το θυμηθείτε, στο τέλος της διαδρομής."

Το κάθε μήνυμα είχε τρεις μονάδες πληροφοριών με προειδοποίηση για: (i) συγκεκριμένες συνθήκες/κατάσταση που θα συναντούσαν οι οδηγοί στην πορεία της προσομοιωμένης οδήγησης, (ii) την απόσταση από τις συνθήκες, και, (iii) τις ενέργειες που απαιτούνται από τον οδηγό ώστε να ανταποκριθεί με ασφάλεια σε αυτές (Campbell et al., 2012). Τα τρία μηνύματα που παρουσιάστηκαν αφορούσαν ύπαρξη σήραγγας μετά από πέντε χλμ. και υπόδειξη για μείωση της ταχύτητας (στη δοκιμασία TC1), παρουσία παγετού σε 4χλμ και υπόδειξη για χρήση αλυσίδων (στη δοκιμασία TC2), και προειδοποίηση για προσέγγιση σε σύνορα μετά από 6 χλμ. με υπόδειξη στον οδηγό να σταματήσει για έλεγχο (στη δοκιμασία TC3). Ένα παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1: Παράδειγμα μηνύματος σε πινακίδα προειδοποίησης με τρεις μονάδες πληροφοριών σχετικά με: (1) συνθήκες παγετού, (2) απόσταση (4km), και (3) απαιτούμενες ενέργειες (χρήση αλυσίδων)

Όλα τα σενάρια οδήγησης περιελάμβαναν οδήγηση κατά μήκος ευθύγραμμων τμημάτων και ανοικτές καμπύλες σε αυτοκινητόδρομο. Τα σενάρια δεν περιελάμβαναν κλειστές καμπύλες ή συχνές στάσεις (Trick 2011 et al.), ώστε να μειωθεί η πιθανότητα του συνδρόμου προσαρμογής προσομοιωτή. Σε όλες τις συνθήκες, το σενάριο οδήγησης ξεκινούσε με μικρές απαιτήσεις τιμόνευσης και με δύο προπορευόμενα οχήματα σε ασφαλή απόσταση μπροστά από τον οδηγό. Αυτές οι συνθήκες οδήγησης μικρών απαιτήσεων παρέμειναν σε όλη τη δοκιμασία TC1. Στις συνθήκες TC2 και TC3, ωστόσο, μετά από αρχική περίοδο οδήγησης χαμηλών απαιτήσεων, επιβάλλονται διαφορετικές απαιτήσεις οδήγησης. Στην TC2, ο οδηγός διέσχισε μια ζώνη έργων με σταδιακά μειούμενο πλάτος κυκλοφορίας. Στην TC3 οι απαιτήσεις στη μνήμη εργασίας είναι διαφορετικές καθώς προστίθεται μια επιπλέον απαίτηση. Η σειρά παρουσίασης των συνθηκών ήταν τυχαία. Οι συνθήκες δοκιμής περιγράφονται παρακάτω:

Η δοκιμασία TC1-Επίπεδο Απαιτήσεων 1, χαρακτηρίζεται από απαιτήσεις για τον έλεγχο του οχήματος. Η δοκιμασία TC2-Επίπεδο Απαιτήσεων 2, χαρακτηρίζεται από υψηλότερο επίπεδο απαιτήσεων σε σχέση με την δοκιμασία TC1, καθώς ο οδηγός πραγματοποιεί ελιγμούς διασχίζοντας ένα οδικό τμήμα εργασιών οδηγώντας μεταξύ εμποδίων που στενεύει προοδευτικά (1:20) σε τελικό πλάτος λωρίδας κυκλοφορίας 3m (Σχήμα 2). Στη δοκιμασία

TC3-Επίπεδο Απαιτήσεων 3, οι απαιτήσεις αρχικά είναι ίδιες με τις απαιτήσεις της διαδρομής TC2, αλλά εδώ ο οδηγός μετά τα τμήμα των οδικών εργασιών, θα πρέπει επιπλέον να αποφασίσει την αλλαγή λωρίδας ανταποκρινόμενος σε ένα συγκεκριμένο ερέθισμα σύμφωνα με τις οδηγίες (αλλαγή λωρίδας του προπορευόμενου οχήματος μετά την ενεργοποίηση των φώτων πέδησης). Το επίπεδο απαιτήσεων ήταν υψηλότερο σε σχέση με τη διαδρομή TC2, καθώς προστίθεται στη δοκιμασία ένα έργο με απαιτήσεις γνωστικών λειτουργιών καθώς ο οδηγός καλείται να πάρει απόφαση και να εκτελέσει μια αλλαγή λωρίδας (επίπεδο ελιγμών ή τακτικής κατά Michon). Στη διαδρομή υψηλών απαιτήσεων (TC3), οι απαιτήσεις για τη μνήμη εργασίας είναι διαφορετικές σε σχέση με τις άλλες διαδρομές.

Αμέσως μετά το τέλος της κάθε διαδρομής, ζητήθηκε από τους οδηγούς να θυμηθούν το μήνυμα που αναγράφεται στην αντίστοιχη πινακίδα. Ο πειραματιστής, στη συνέχεια, βαθμολογούσε στην κλίμακα από 0 έως 3, που δείχνει καμία, 1, 2 ή 3 μονάδες πληροφοριών που ανακλήθηκαν.



Σχήμα 2: Συνθήκες δοκιμασίας TC2 (α: αριστερά) με τη ζώνη έργων σε απόσταση; (β: δεξιά) τα εμπόδια περιορίζουν το πλάτος του οδοστρώματος

3. Αποτελέσματα

Για την παρούσα διερεύνηση, αναλύθηκαν τα δεδομένα από τους συμμετέχοντες που στη διαδρομή TC3 είχαν πραγματοποιήσει την αλλαγή λωρίδας ανταποκρινόμενοι στις οδηγίες. Για να επιβεβαιωθεί ότι οι απαιτήσεις της οδήγησης ποίκιλαν στις τρεις δοκιμασίες όπως φάνηκε από τη μείωση της ταχύτητας κατά τη διέλευση από τη ζώνη των έργων, πραγματοποιήθηκε αμφίδρομη μικτή ανάλυση διασποράς (two-way mixed ANOVA) για την διερεύνηση της επίδραση στην ταχύτητα των οδηγών της ομάδας που ανήκουν οι οδηγοί (ομάδα οδηγών με PD και ομάδα οδηγών χωρίς νευρολογικές παθήσεις, ανεξάρτητη μεταβλητή δύο επιπέδων), και του επιπέδου απαιτήσεων στις τρεις δοκιμασίες (TC1, TC2, TC3), (ανεξάρτητη μεταβλητή τριών επιπέδων) που παρεμβάλλονται μεταξύ της παρουσίας του μηνύματος και της ανάκλησής του, καθώς και της επίδρασης του συνδυασμού απαιτήσεων-συμμετοχή σε ομάδα (αλληλεπίδρασης αυτών των μεταβλητών).

Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι τυπικές αποκλίσεις των ταχυτήτων για τα επίπεδα κάθε ανεξάρτητης μεταβλητής. Στον Πίνακα 3 φαίνεται ότι, κατά μέσο όρο, στο επίπεδο απαιτήσεων 1 η μέση ταχύτητα ήταν υψηλότερη από τη μέση ταχύτητα σε επίπεδα απαιτήσεων 2 και 3. Επιπλέον, η μέση ταχύτητα της ομάδας PD ήταν χαμηλότερη από την μέση ταχύτητα της ομάδας ελέγχου σε όλα τα επίπεδα της απαιτήσεων του έργου οδήγησης.

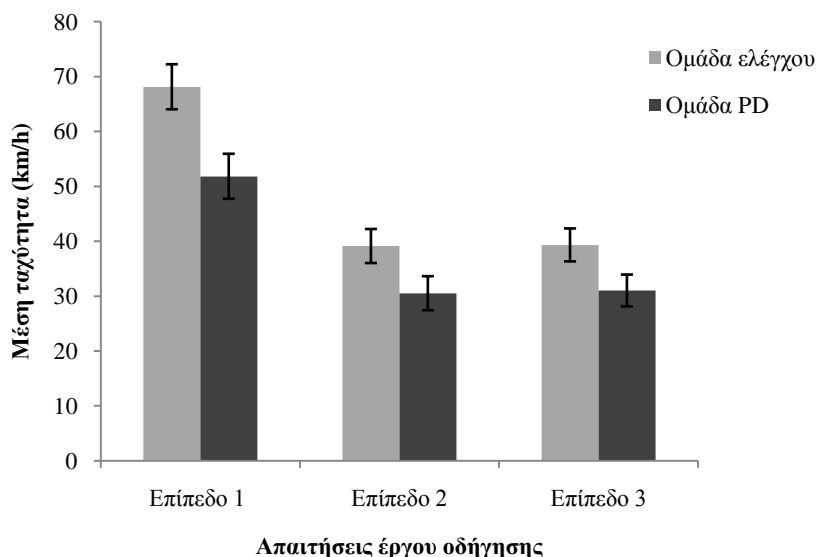
Πίνακας 3: Μέση τιμή και τυπική απόκλιση ταχύτητας

	Ομάδα	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	N
Ταχύτητα-επίπεδο απαιτήσεων 1	Ελέγχου	68.10	11.27	10
	PD	51.80	14.31	10
	Σύνολο	59.95	15.07	20
Ταχύτητα-επίπεδο απαιτήσεων 2 ^a	Ελέγχου	39.09	10.87	10
	PD	30.54	8.72	10
	Σύνολο	34.81	10.55	20
Ταχύτητα-επίπεδο απαιτήσεων 3 ^a	Ελέγχου	39.31	8.82	10
	PD	30.97	9.56	10
	Σύνολο	35.14	9.92	20

^aΜέση ταχύτητα κατά μήκος της ζώνης εργασιών

Η ανάλυση διασποράς δείχνει ότι η επίδραση της μεταβλητής της ομάδας που ανήκουν οι οδηγοί στην ταχύτητα είναι στατιστικά σημαντική ($F(1, 18) = 9.07, p = 0.008$), καθώς επίσης και ότι οι διαφορές στην ταχύτητα που σχετίζονται με το επίπεδο των απαιτήσεων ήταν στατιστικά σημαντικές ($F(1.32, 36) = 57.22, p < 0.001$). Επομένως, ανεξαρτήτως της ομάδας στην οποία ανήκουν, οι οδηγοί ελαττώνουν ταχύτητα οδηγώντας στις τρεις δοκιμασίες, εύρημα που υποδηλώνει ότι το επίπεδο απαιτήσεων μεταβάλλεται με την επιβολή διαφορετικών έργων οδήγησης στα επίπεδα ελέγχου και ελιγμών (τακτικό επίπεδο) κατά Michon. Ο έλεγχος Bonferroni έδειξε ότι η μέση ταχύτητα στο επίπεδο απαιτήσεων 1 ήταν σημαντικά διαφορετική από ότι την ταχύτητα στο επίπεδο 2 και στο επίπεδο 3 ($p < 0.001$). Η ταχύτητα στο επίπεδο 3 (υψηλών απαιτήσεων), δεν ήταν σημαντικά διαφορετική από την ταχύτητα στο επίπεδο 2 ($p > 0.05$).

Η γραφική παράσταση της αλληλεπίδρασης (Σχήμα 3) απεικονίζει τις διαφορές αυτές, καθώς και τη φύση της αλληλεπίδρασης των μεταβλητών. Η αλληλεπίδραση των μεταβλητών της ομάδας (με βάση την ιατρική διάγνωση) και του επιπέδου απαιτήσεων του έργου οδήγησης δεν είναι στατιστικά σημαντική ($F(1.32, 36) = 1.42, p > 0,05$).

**Σχήμα 3: Μέση ταχύτητα για κάθε ομάδα σε διαφορετικά επίπεδα απαιτήσεων.**

Ορίστηκε μια γενικευμένη εκτιμητική εξίσωση (GEE) για να διερευνηθεί η σχέση μεταξύ της συμμετοχής σε συγκεκριμένη ομάδα (between-group variable) και της επίδοσης στην ανάκληση μηνύματος, με προσαρμογή για τις πιθανές συσχετίσεις μεταξύ των επιδόσεων στην ανάκληση μηνύματος για κάθε συμμετέχοντα στις τρεις συνθήκες οδήγησης-δοκιμασίες (within-group variable). Η γενικευμένη εκτιμητική εξίσωση (GEE) χρησιμοποιήθηκε για την

εκτίμηση των παραμέτρων ενός γενικευμένου γραμμικού μοντέλου συντελεστών παλινδρόμησης. Το GEE μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστάδες ή διαχρονικά δεδομένα και έχει την ιδιότητα να παρέχει συνεπείς εκτιμήσεις των συντελεστών παλινδρόμησης και αμερόληπτο συμπέρασμα, ακόμη και όταν η δομή σύνδεσης μέσα σε μια συστάδα δεν είναι επαρκώς καθορισμένη (μη γνωστή συσχέτιση μεταξύ των επιδόσεων στις διαφορετικές δοκιμασίες). Οι συντελεστές παλινδρόμησης περιγράφουν την επίδραση των ανεξάρτητων μεταβλητών κατά μέσο όρο σε έναν πληθυσμό. Με την εφαρμογή αθροιστικής λογιστικής συνάρτησης (cumulative logit link function) προέκυψε ότι οι οδηγοί της ομάδας ελέγχου ήταν πιο πιθανό να έχουν καλύτερες επιδόσεις από τους οδηγούς με PD στο έργο ανάκλησης πληροφοριών (μηνύματος). Αυτή η τάση όμως δεν ήταν στατιστικά σημαντική (B (SE) = .53 (.68), Exp (B) = 1.70, CI = 0.45, 6.41, $p > 0.05$) (Πίνακας 4). Επίσης, η ανάλυση έδειξε ότι, ανεξάρτητα από την ομάδα στην οποία ανήκουν, οι οδηγοί είχαν καλύτερες επιδόσεις στην ανάκληση των πληροφοριών ασφαλείας στη δοκιμασία TC1 έναντι της δοκιμασίας TC3 (B (SE) = .72 (.48), Exp (B) = 2.05, CI = 0.79, 5.29, $p > 0.05$) (Πίνακας 4), αν και αυτή η διαφορά δεν ήταν σημαντική. Η επίδοση στην ανάκληση του μηνύματος ήταν πιο πιθανό να είναι υψηλότερη στη δοκιμασία TC2 από σε σχέση με τη δοκιμασία TC3 (υψηλότερο επίπεδο απαιτήσεων του έργου οδήγησης) και η διαφορά αυτή ήταν στατιστικά σημαντική (B (SE) = .89 (.42), Exp (B) = 2.44, CI = 1.07, 5.60, $p < 0.05$). Αν και ηλικία και η αλληλεπίδραση των μεταβλητών ομάδας και επιπέδου απαιτήσεων ελήφθησαν υπόψη στη διαδικασία υπολογισμού του μοντέλου, δεν διατηρήθηκαν στον τελικό υπολογισμό του, δεδομένου ότι η επίδρασή τους δεν ήταν στατιστικά σημαντική σε εύλογο επίπεδο σημαντικότητας.

Πίνακας 4: Πολυωνυμική παλινδρόμηση για την πρόβλεψη της ανάκλησης μηνύματος

Παράμετρος		B	Std. Error	Exp(B)	95% CI for Exp(B)		Hypothesis Test		Sig.
					Lower	Upper	Wald	df	
							Chi-Square		
Κατώφλιο	Ανάκληση(score)=0	-1.93	0.94	0.14	0.02	0.91	4.26	1.00	0.04
	Ανάκληση(score)≤1	-1.00	0.70	0.37	0.09	1.45	2.04	1.00	0.15
	Ανάκληση(score)≤2	0.31	0.57	1.36	0.44	4.18	0.29	1.00	0.59
Ομάδα ελέγχου		0.53	0.68	1.70	0.45	6.41	0.61	1.00	0.43
Ομάδα PD		0							
TC1-Επίπεδο απαιτήσεων 1		0.72	0.48	2.05	0.79	5.29	2.19	1.00	0.14
TC2-Επίπεδο απαιτήσεων 2		0.89	0.42	2.44	1.07	5.60	4.46	1.00	0.03
TC3-Επίπεδο απαιτήσεων 3		0							

4. Συμπεράσματα και συζήτηση

Οι στόχοι της παρούσας έρευνας ήταν να διερευνηθεί εάν διαφορετικά επίπεδα απαιτήσεων οδήγησης επηρεάζουν διαφορετικά την ανάκληση μηνύματος από πινακίδα σήμανσης, για οδηγούς με νόσο του Πάρκινσον έναντι μιας ομάδας (ελέγχου) χωρίς διαγνωσμένες παθολογικές παθήσεις ίδιας ηλικίας. Με τη χρήση ενός προσομοιωτή οδήγησης, διεξήχθη ένα πείραμα οδήγησης σε μία συνεδρία. Και οι δύο ομάδες των συμμετεχόντων στη μελέτη ήταν οδηγοί ηλικίας μεταξύ 50 και 70 ετών. Οι δύο ομάδες δεν είχαν στατιστικά σημαντικές διαφορές σε δημογραφικά και ατομικά χαρακτηριστικά τους που συνδέονται με την οδήγηση, όπως η ηλικία, η εμπειρία και η δραστηριότητα οδήγησης, τα έτη εκπαίδευσης καθώς και ο αριθμός των ατυχημάτων κατά τα τελευταία δύο χρόνια. Η εφαρμογή των νευροψυχολογικών δοκιμασιών (τεστ) έδειξε ότι οι οδηγοί με νόσο του Πάρκινσον (PD) είχαν δυσκολίες στην

ανάκληση λεκτικού υλικού, καθώς και σε εκτελεστικές λειτουργίες, σε λειτουργίες προσοχής και στη μνήμη εργασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων από τον προσομοιωτή, οι οδηγοί με PD ήταν πιο πιθανό να έχουν μειωμένη επίδοση στην ανάκληση μηνύματος σε σχέση με οδηγούς χωρίς παθήσεις (ομάδα ελέγχου) με παρόμοια δημογραφικά χαρακτηριστικά. Όμως η διαφορά μεταξύ των ομάδων δεν ήταν στατιστικά σημαντική. Επίσης, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι γενικά η επίδοση στην ανάκληση μηνύματος ήταν πιο πιθανό να μειώνεται με την αύξηση των απαιτήσεων της οδήγησης. Αυτή η διαφορά ήταν στατιστικά σημαντική όταν το έργο οδήγησης είναι αυξημένων απαιτήσεων, συνδέεται δηλαδή με γνωστικές λειτουργίες υψηλότερου επιπέδου (λήψη απόφασης για πραγματοποίηση αλλαγής λωρίδας).

Αποτελέσματα άλλων ερευνών σε οδηγούς με τη νόσο του Πάρκινσον έχουν δείξει σύνδεση της νόσου του Πάρκινσον με προβλήματα στις εκτελεστικές λειτουργίες χαμηλότερου επιπέδου όπως η νοητική ευελιξία, η αναστολή των αυτόματων αντιδράσεων και ο χειρισμός / έλεγχος και η επικαιροποίηση των λεκτικών και οπτικο-χωρικών αναπαραστάσεων. Επιπλέον, σύμφωνα με μελέτες νευροψυχολογικών αλλαγών σε διάστημα δύο ετών σε ασθενείς με τη νόσο του Πάρκινσον, η εξέλιξη της νόσου επιφέρει εξασθένηση κυρίως στις εκτελεστικές λειτουργίες (Ranchet et al., 2011). Οι Ranchet et al., (2011) πραγματοποίησαν έρευνα μικρού δείγματος στην οποία οδηγοί με νόσο του Πάρκινσον, ήπιας έως μέτριας σοβαρότητας, και μια ομάδα ελέγχου με οδηγούς ίδιας ηλικίας, συμμετείχαν σε αξιολόγηση μνήμης εργασίας και νοητικής ευελιξίας μέσω νευροψυχολογικών δοκιμασιών (τεστ) και δοκιμασιών σε προσομοιωτή οδήγησης. Οι δοκιμασίες επαναλήφθηκαν μετά από ένα διάστημα 2 ετών. Τα αποτελέσματα έδειξαν στατιστικά σημαντικές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου στη νευροψυχολογική δοκιμασία μνήμης εργασίας στην ομάδα ελέγχου. Το συγκεκριμένο εύρημα υποδηλώνει εξασθένηση με τη φυσιολογική γήρανση. Επίσης, δεν υπήρξαν αλλαγές στην δοκιμασία μνήμης εργασίας στον προσομοιωτή οδήγησης σε καμία από τις ομάδες. Σε άλλη έρευνα με μεγαλύτερο δείγμα οδηγών με τη νόσο του Πάρκινσον και ομάδα ελέγχου, οι Rancet et al. (2010) έδειξαν ελλείμματα στην μνήμη εργασίας σε νευροψυχολογική δοκιμασία και σε δοκιμασία σε προσομοιωτή οδήγησης με τους οδηγούς με PD να ανακαλούν σημαντικά μικρότερο αριθμό οδικών σημάτων. Στην παρούσα έρευνα η απουσία στατιστικά σημαντικής διαφοράς στην ανάκληση μηνύματος μεταξύ των δύο ομάδων οδηγών (PD και ελέγχου) μπορεί να οφείλεται στο μικρό δείγμα. Περαιτέρω ανάλυση σε μεγαλύτερο δείγμα μπορεί να μας επιτρέψει να παρατηρήσουμε στατιστικά σημαντικές διαφορές επίδοσης στην ανάκληση μηνύματος (από οδική σήμανση) που να σχετίζονται με την νόσο του Πάρκινσον.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι εκτός του μικρού δείγματος, η έρευνα έχει και άλλους περιορισμούς. Τα αποτελέσματα δεν αναλύθηκαν σε σχέση με τη σειρά των δοκιμασιών. Επιπλέον, δεν διερευνήθηκε η επίδραση των ατομικών χαρακτηριστικών όπως η εμπειρία οδήγησης και το επίπεδο των λειτουργικών ικανοτήτων των οδηγών (οπτική οξύτητα, ευαισθησία αντίθεσης, οπτική προσοχή, αντιληπτικές και γνωστικές διαδικασίες, καθώς και η κινητική τους ικανότητα) στην επίδοση στην ανάκληση μηνύματος. Τέλος, επισημαίνεται ότι, κατά τη χρήση προσομοιωτή για την αξιολόγηση των δεξιοτήτων οδήγησης σε ενήλικες μεγαλύτερης ηλικίας, οι επιδόσεις τους είναι πιο πιθανό (σε σχέση με νεότερους οδηγούς) να επηρεάζονται από το σύνδρομο προσαρμογής στον προσομοιωτή, ακόμη και αν δεν υπάρχουν εμφανή συμπτώματα (Brooks et al., 2010).

Τα συμπεράσματα της έρευνας λόγω των προαναφερόμενων περιορισμών είναι προκαταρκτικά. Παρά τους περιορισμούς αυτούς όμως, τα στοιχεία που παρουσιάζονται εδώ είναι ενθαρρυντικά σε σχέση με την πιθανή χρήση ενός (σταθερής βάσης) προσομοιωτή οδήγησης για να εντοπιστούν διαφορές επίδοσης που μπορεί να διακρίνουν με αξιοπιστία μεγαλύτερης ηλικίας άτομα με ιατρικές παθήσεις -που συχνά προκαλούν απώλεια των λειτουργιών απαραίτητων για την ασφαλή οδήγηση- από υγιείς οδηγούς της ίδιας ηλικιακής ομάδας. Σε επόμενη έρευνα θα ήταν σημαντικό να εξετασθεί εάν η δοκιμασία μνήμης εργασίας στον προσομοιωτή μπορεί να διακρίνει μεταξύ οδηγών με παθήσεις όπως η νόσος

του Πάρκινσον, ή μεταξύ οδηγών μεγαλύτερης ηλικίας (χωρίς παθήσεις), αυτούς που οδηγούν με ασφάλεια από τους οδηγούς που δεν έχουν ασφαλείς επιδόσεις σε πραγματικό περιβάλλον οδήγησης. Με την κατανόηση των περιορισμών της, η προσομοίωση οδήγησης σε συνδυασμό με δοκιμασίες φυσικών-σωματικών, οπτικών και γνωστικών ικανοτήτων, που είναι σημαντικοί παράγοντες πρόβλεψης των ατυχημάτων, μπορεί να είναι μέρος ενός πολυεπίπεδου συστήματος για την αξιολόγηση της ικανότητας οδήγησης.

Επιπλέον, εν όψει της εισαγωγής των υποστηρικτικών τεχνολογιών και των αυτοματοποιημένων συστημάτων ελέγχου, οι προσομοιωτές οδήγησης έχουν σημαντικό ρόλο ως πλατφόρμα έρευνας και αξιολόγησης, για να οριοθετηθούν οι συνθήκες κάτω από τις οποίες οι οδηγοί (υγιείς ή με εξασθενημένες λειτουργικές ικανότητες) θα μπορούν να διατηρήσουν τον έλεγχο του οχήματός τους.

Ευχαριστίες

Η παρούσα εργασία βασίζεται σε δύο ερευνητικά έργα που υλοποιούνται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος "Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ), και συγκεκριμένα το χρηματοδοτούμενο πρόγραμμα Έρευνας **ΘΑΛΗΣ**: «Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου», και **ΑΡΙΣΤΕΙΑ** (Δικαιούχος της Δράσης: Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας), συγχρηματοδοτούμενα από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο, ΕΚΤ) και Εθνικούς Πόρους.

5. Αναφορές-Βιβλιογραφία

Akinwuntan, A. E., Wachtel, J., & Rosen, P. N. (2011). Driving simulation for evaluation and rehabilitation of driving after stroke. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases*, 21(6), pp. 478-486.

Brooks, J. O., R. R. Goodenough, M. C. Crisler, N. D. Klein, R. L. Alley, B. L. Koon, W. C. Logan, J. H. Ogle, R. A. Tyrrell, & R. F. Wills (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accident Analysis & Prevention*, Vol. 42(3), , pp. 788-796.

Campbell, J. L., Lichty, M. G., Brown, J. L., Richard, C. M., Graving, J. S., Graham, J., Mitchell O' Laughlin, Darren Torbic & Douglas Harwood (2012). *NCHRP Report 600 (Second Edition): Human Factors Guidelines for Road Systems*. Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C.,

Crizzle, A.M, Classen, S., & Uc, E. Y.(2012). Parkinson disease and driving. An evidence-based review. *Neurology*,79:2067–2074.

Devos, H., Vandenberghe, W., Nieuwboer, A., Tant, M., Baten, G., & De Weerd, W. (2007). Predictor of fitness to drive in people with Parkinson's disease, *Neurology*, 69, 1434-1441.

Devos, H., Vandenberghe, W., Nieuwboer, A., Tant, M., De Weerd, W., Dawson, J.D., & Uc, E. Y. (2013). Validation of a Screening Battery to Predict Driving Fitness in People With Parkinson's Disease, *Movement Disorders*, Vol. 28, (5), pp 671-674.

Hakamies-Blomqvist, & L., Peters, B. (2000). Recent European research on older drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 32, pp. 601-607.

Hellenic Ministry of Transport and Infrastructure (HMTI), *Freeway Signing Guidelines.*, Athens 2010.

Mullen, N. W., Chattha, H. K., Weaver, B. & Bedard, M. (2008). Older driver performance on a simulator: associations between simulated tasks and cognition, *Advances in Transportation Studies*, 2008 Spec. Iss., pp. 31-42.

Ranchet M., Paire-Ficout, L. Broussolle, E. Longitudinal two-year follow-up of updating and flexibility functions in drivers with Parkinson's Disease: preliminary results. (2011). *Proceedings of the Sixth International*

Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design, Olympic Valley - Lake Tahoe CA(USA).

- Ranchet, M., Paire-Ficout, L., Marin-Lamellet, C., Laurent, B., & Broussolle, E. (2010). Impaired updating ability in drivers with Parkinson's disease. *Journal Neurology Neurosurgery Psychiatry*. 2011 Feb;82(2):218-23. doi: 10.1136/jnnp.2009.203166. Epub 2010 Aug 27.
- Rizzo M. Medical Disorders. *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press, 2011.
- Singh, H., Barbour, B. M. & Cox, D. J. (2011). *Driving Rehabilitation as Delivered by Driving Simulation*. Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology, CRC Press.
- Staplin, L., Lococo, K. H., Gish, K. W., & Decina, L.E. (2003). Model Driver Screening and Evaluation Program. Final Technical Report. Volume 2: Maryland Pilot Older Driver Study. Washington, D.C., National Highway and Traffic Safety Administration. <http://www.nhtsa.dot.gov/people/injury/olddrive/modeldriver/>
- Staplin, L., Lococo, K. H., Martell, C., & Stutts, J. (2012). Taxonomy of Older driver behaviors and Crash Risk. Final Report, DOT HS 811 468A, National Highway and Traffic Safety Administration.
- Uc, E., & Rizzo, M. (2011). Driving in Alzheimer's Disease, Parkinson's Disease, and Stroke. *Handbook of Driving Simulation for Engineering, Medicine and Psychology*. CRC Press.
- Vardaki, S., Yannis, G. & S. Papageorgiou (2013), A Review of Driving Performance Assessment in Simulators, accepted for presentation at the *Road Safety and Simulation RSS013 International Conference*, Rome.
- Vardaki, S., Yannis, G. Pavlou, G., Beratis, I., & Papageorgiou, S. (2014). Sign recall in a fixed-base simulator as a measure of fitness-to-drive, Proceedings of the 93rd Annual Meeting of the Transportation Research Board (TRB), January 12-16, 2014, Washington, D.C., USA.
- Yannis G., Golias J., Antoniou C., Papadimitriou E., Vardaki S., Papantoniou P., Pavlou D., Papageorgiou S., Andronas N., Papatriantafyllou I., Liozidou A., Beratis I., Kontaxopoulou D., Fragiadaki S., & Economou A., (2013). Design of a large driving simulator experiment on performance of drivers with cerebral diseases. Proceedings of the *4th International Conference on Road Safety and Simulation*, Rome.