

Aus der Klinik für Neurologie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Visuelles Explorationsverhalten von Normalprobanden und
Patienten mit homonymer Hemianopsie:
Analyse mittels Fahrsimulator

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Sophie De Beukelaer

aus Minden

Datum der Promotion: 16. Juni 2018

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Abstract	3
In deutscher Sprache	3
In englischer Sprache	4
Einleitung	5
Visuelles Explorationsverhalten von Normalprobanden	5
Visuelles Explorationsverhalten von Patienten mit homonymer Hemianopsie.....	6
Methodik	7
Studienteilnehmer.....	7
Normalprobanden	8
Patienten mit HH.....	8
Studienaufbau	9
Versuchsaufbau	9
Fahraufgabe.....	10
Fragebogen.....	11
Testparameter	11
Statistische Analysen	12
Normalprobanden	12
Patienten- und Kontrollgruppen	13
Ergebnisse	13
Ergebnisse der Normalprobanden	13
Videospielerfahrung und Alter.....	14
Reaktionszeiten	14
Explorationsverhalten	16
Ergebnisse der Patienten	17
Demographische Variablen.....	17
Reaktionszeiten	17
Explorationsverhalten	19
Diskussion	20
Diskussion der Normalprobandendaten	20
Diskussion der Patientendaten.....	22
Literaturverzeichnis	24
Abbildungsverzeichnis	29

Eidesstattliche Versicherung	30
Anteilerklärung	31
Publikationen	32
1 Driving simulation in the clinic: testing visual exploratory behavior in daily life activities in patients with visual field defects	32
2 Age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting.....	38
3 Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation	50
Lebenslauf mitsamt Publikationsliste	60
Danksagung	63

Zusammenfassung

Abstract

In deutscher Sprache

Einleitung: Bei Normalprobanden wird angenommen, dass mit zunehmendem Alter die anhaltende räumliche Aufmerksamkeit und schnelle Reaktionsfähigkeit auf periphere Reize abnimmt (Crundall et al., 2002; Rogé et al., 2004). Patienten mit homonymer Hemianopsie (HH) berichten im Alltag unterschiedlich mit ihrer Gesichtsfeldeinschränkung umzugehen. In Laborsituationen konnten visuelle Explorationsmuster beschrieben werden (Zihl, 1995), mithilfe derer die Patienten ihr Defizit kompensierten.

Methodik: Wir untersuchten insgesamt 73 Normalprobanden unterschiedlichen Alters und 14 Patienten mit HH in einem Fahrsimulator-Versuchsaufbau. Augen- und Kopfbewegungen wurden dabei mittels einer Kopf-montierten Augenbewegungs-Kamera aufgezeichnet (Hamel et al., 2012). Die Studienteilnehmer sollten während des Fahrens von Strecken unterschiedlicher Komplexität so schnell wie möglich auf aufkommende Hindernisse verschiedener Ekzentrizitäten (peripher vs. zentral) reagieren.

Ergebnisse: Ältere Probanden führten mehr Kopfbewegungen durch, was ihre Blickamplitude erweiterte, videospieleerfahrene Probanden zeigten u.a. eine breitere Varianz an Fixationen auf der Horizontalen, was ihnen zu einer schnelleren Detektionsleistung auf peripher gelegene Objekte verhalf.

Wir konnten zeigen, dass „high performer“ (HP) mit HH eine deutlich breitere Varianz an Augenbewegungen auf der Leinwand durchführten, als „low performer“ (LP). Dies ermöglichte den HP eine effiziente Kompensation. LP schätzten auf Nachfrage ihre Fahrleistung dennoch als gut ein.

Schlussfolgerung: Unser Versuchsaufbau ermöglicht visuelles Explorationsverhalten von Normalprobanden und Patienten innerhalb eines dynamischen und realitätsnahen Settings zu erheben. Einen beginnenden, altersrelevanten visuoperzeptiven Funktionsabbau konnten wir in unserem Kollektiv nicht objektivieren. Aufgrund des maßgeblichen Einflusses der Videospieleerfahrung empfehlen wir diese als Variable in zukünftige Simulatorstudien miteinzubeziehen. Wir konnten relevante Unterschiede bezüglich der Augenbewegungsparameter zwischen den Patientengruppen und den Normalprobanden aufzeigen. Inwiefern unser Studienaufbau als mögliches

Augenbewegungs-basiertes Rehabilitationsverfahren benutzt werden kann, muss in kommenden Untersuchungen evaluiert werden.

In englischer Sprache

Introduction: It is discussed, that with increasing age the capacity of fast reaction towards upcoming obstacles as well as the visuospatial attention decreases in situations with high workload (Crundall et al, 2002, Rogé et al. 2004). Patients with homonymous hemianopia (HH) report to handle their visual field deficit quite differently after an infarction of the posterior cerebry artery (PCA). Despite similar deficits one can distinguish in laboratory testing situations different visual scan patterns (Zihl, 1995) allowing them to compensate for their deficit. How do healthy persons of varying age and patients with HH assure the coherence of their visuospatial perception in a dynamic and complex natural–scene setting?

Methods: We measured in total 73 healthy subjects of varying age and 14 patients with HH in our driving simulator paradigm. Eye–and head movements were recorded via a head–mounted Eye–Tracker. The participants were asked to detect as fast as possible towards upcoming obstacles from two eccentricities (peripheral vs. central) while driving scenarios of different road complexities.

Results: Healthy subjects did not differ regarding age in the use of eye–movements. Older participants executed more head movements, in order to enlarge their field of view. Participants with an extensive experience of animated video games, showed a wider spread of fixations within the screen and detected faster manually towards upcoming obstacles. We could show that high performing patients (HP) had a wider spread of fixations within the screen, in comparison to low performing patients (LP). This assured them an efficient compensatory behavior in task. When asked to rate, LP rated their performance as good.

Conclusion: Our study paradigm enables us to assess reliably and in a standardized manner the visual exploratory behavior of healthy subjects as well as patients with visual field defect. We couldn't find an age effect that would suggest early visuoperceptual decline in our collective. Nevertheless, the level of videogame experience being highly correlated with increasing age, we suggest accounting for both variables in future simulation studies. We could show relevant differences regarding the use of eye movements towards the blind field within the patient group and in comparison to healthy subjects. For both patient subgroups, further investigations of the individual scanning

patterns are needed in order to better understand the underlying cognitive mechanisms as well as to evaluate the gain of a potential eye-movements based rehabilitation task within our experimental setup.

Einleitung

Im Alltag dienen zielgerichtete sowie reflexive Augen- und Kopfbewegungen dazu das Gesichtsfeld zu überblicken und gegebenenfalls situationsadaptiert zu erweitern (Rothkopf et al., 2007). Dabei ermöglichen im Besonderen visuelle Aufmerksamkeitsmechanismen die wahrgenommenen Seheindrücke kohärent zeit-räumlich zu integrieren (Zihl, 2005), Reizobjekte der Umwelt in den Fokus für die weitere perzeptiv-kognitive Verarbeitung zu rücken (Pierrot-Deseilligny et al., 2003) und in sensomotorische Handlungen einzuführen (Corbetta, 1998). In unseren Studien haben wir uns insbesondere dafür interessiert, ob und inwiefern die Kohärenz der visuellen Wahrnehmung durch Prozesse wie dem des Alterns und durch Gesichtsfeldeinbußen, insbesondere der des halbseitigen Gesichtsfelddefektes, moduliert werden und, wenn ja, wie sich diese Modulationen im visuellen Explorationsverhalten der entsprechenden Gruppen innerhalb eines realitätsnahen-dynamischen Versuchsaufbaus, dem Fahrsimulator, bemerkbar machen.

Visuelles Explorationsverhalten von Normalprobanden jeden Alters

Studien beschreiben mit zunehmendem Alter Veränderungen in den frühen Schritten der perzeptiven Verarbeitung (Cliff et al., 2012; Mozolic et al., 2012). Im visuellen System wurde im Hinblick altersrelevanter Veränderungen ein besonderer Schwerpunkt auf das funktionelle Gesichtsfeld (Useful Field Of View (UFOV) (Owsley et al., 1998), gelegt, dem Ausschnitt des Gesichtsfeldes, aus welchem zentrale wie periphere visuelle Reize situations- und aufgabenabhängig, verhaltensrelevant wahrgenommen werden. Es wird angenommen, dass bei älteren Menschen der zunehmende Arbeitsaufwand in alltagsrelevanten, visuell fordernden Aufgaben, wie z.B. der des Autofahrens, mit einer Abnahme des funktionellen Gesichtsfeldes einhergeht, im Besonderen der Fähigkeit auf periphere Reize adäquat zu reagieren. Diese Einbußen werden in der Literatur als Phänomene des Tunnelblicks (Williams, 1988) oder der generellen Interferenz (Holmes et al., 1977; Crundall et al., 1999) beschrieben und diskutiert. In einer Studie von Ball und Kollegen (Ball et al., 1993) wurde der UFOV-Parameter als wichtigster sensitiver sowie spezifischer Vorhersageparameter für die Anzahl von Unfallereignissen älterer Verkehrsteilnehmer ausgemacht. Fahrsimulatorstudien sowie „On-Road-Studien“

konnten Veränderungen in der manuellen oder verbalen Reaktionszeit älterer Studienteilnehmer in ihren Versuchsaufbauten nachweisen, sowie unterschiedliches Fixationsverhalten zwischen älteren und jüngeren Probanden beschreiben (Rogé et al., 2004). Auch wenn ältere Probanden in den Versuchsaufbauten langsamer auf Stimuli reagierten (Crundall et al., 2002; Rogé et al., 2004), und beim Überqueren von Kreuzungen die Kontrollblicke vernachlässigten (Pradhan et al., 2005), fixierten sie aufkommende Objekte schneller als jüngere Probanden, was als Zeichen von Risikoerfahrung interpretiert wurde. Kopfbewegungen wurden in den Studien bislang nicht aufgezeichnet, auch wenn eine Zunahme in einem naturalistischen Studienaufbau beschrieben worden ist (Proudlock et al., 2004).

Eine UFOV Veränderung wurde ebenso in Studien mit videospieleerfahrenen Probanden beschrieben. In virtuellen Fahraufgaben spiegelte sich der Erfahrungswert in einer größeren Genauigkeit in der Reizdetektion sowie effizienteren räumlichen Orientierung wieder (Green and Bavelier, 2012). Es wird angenommen, dass Videospieleerfahrene behänder dazu in der Lage sind, ihre visuell-räumliche Aufmerksamkeit über das gesamte visuelle Blickfeld zu adaptieren (Green and Bavelier, 2003). Boot und Kollegen äußerten diesbezüglich die Frage ob und inwiefern das Spielen von animierten Videospiele eine mögliche Maßnahme gegen beginnenden kognitiven Abbau bei älteren Menschen darstellen könnte (Boot et al., 2013).

Ist die UFOV Abnahme bei älteren Menschen als Form erlernter Unachtsamkeit während des Fahrens (Pollatsek et al., 2012) zu interpretieren? Oder gar als sensibles Zeichen im Sinne einer Abnahme visuell-räumlicher Integrationsfähigkeit mit zunehmendem Alter zu werten? Welche Rolle spielt dabei die Videospieleerfahrung und kann man in unserem Versuchsaufbau bestimmte altersrelevante visuelle Explorationsmuster ausmachen?

Visuelles Explorationsverhalten von Patienten mit homonymer Hemianopsie (HH)

Patienten mit homonymer Hemianopsie infolge postchiasmaler Läsionen der Sehbahn, berichten im Alltag ganz unterschiedlich mit ihrem Defizit zurechtzukommen. Dabei wurden in Laborsituationen (Zihl, 1995) und in realitätsnahen Versuchsaufbauten, wie dem Fahrsimulator (Ishiai et al., 1987) verschiedene kompensatorische Augenbewegungsmuster ausgemacht, mithilfe welcher die Probanden versuchten, ihr Defizit auszugleichen.

Patienten mit Kompensationsverhalten führten in den spezifischen Testsituationen sowie in realitätsnahen Versuchsaufbauten zielgerichtet vermehrt Augenbewegungen in ihre blinde Gesichtsfeldhälfte durch, was ihnen in diesen Situationen im Vergleich zu nicht kompensierenden Patienten einen größeren und besseren Überblick über ihr gesamtes Gesichtsfeld ermöglichte. Martin und Kollegen zeigten in ihrem realitätsnahen Studienaufbau auf, dass die Augenbewegungsmuster der Patienten, im Vergleich zu denen von Normalprobanden, von einer häufigeren Aktualisierung visuell-räumlicher Informationen zeugten und ihnen dies Verfahren zu einer guten Leistung in der abverlangten Aufgabe verhalf (Martin et al., 2007).

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wird diskutiert, ob Patienten, die kompensierten, mithilfe der Blickmotorik Informationen in ihren extrastriären, v.a. dorsalen Arealen, sofern diese nicht von der Läsion betroffen waren, „überspielten“, um eine zeit-räumliche Kohärenz der visuellen Wahrnehmung zu gewährleisten (Zihl, 1995, Zihl 1997; Fortenbaugh et al., 2015). Inwiefern das Phänomen „Blindsight“ (Poppel et al., 1973, Weiskrantz et al., 1974) als ursächlich für eine effiziente, visuelle Kompensationsstrategie bei den Patienten, vor allem in realitätsnahen Studienaufbauten gesehen werden kann, ist unbekannt (Corbetta et al., 1990). Ebenso ist die Auswirkung einer frühen, effizienten Blicktherapie zur Rehabilitation des erworbenen Gesichtsfelddefektes in Anbetracht der beschriebenen unterschiedlichen Augenbewegungsmuster, ungeklärt (Bouwmeester et al., 2007; Roth et al., 2009).

Wie verändert sich das visuelle Explorationsverhalten von Patienten mit HH in unserem Studienaufbau? Kann man verhaltensrelevante Unterschiede in dem Gebrauch und der Verteilung von Augen- und Kopfbewegungen unter den Patienten sowie im Vergleich zu Normalprobanden feststellen? Können Patienten ihre Fahrleistung realistisch bewerten? Um der Beantwortung dieser Fragen näher zu kommen, entwickelten wir einen kontrollierten, realitätsnahen Versuchsaufbau, mithilfe eines Fahrsimulators, in welchem wir die Augen- und Kopfbewegungen von Patienten und Normalprobanden separat und vergleichend untersuchten und somit das visuelle Explorationsverhalten standardisiert erheben und eine Einschätzung der Alltagsleistung formulieren konnten.

Methodik

Studienteilnehmer

Wir rekrutierten insgesamt 85 Normalprobanden und 41 Patienten mit HH für unsere Studien. Die Probanden willigten allesamt freiwillig zur Teilnahme ein und gaben hierüber

eine schriftliche Einverständniserklärung ab. Ihre Teilnahme wurde mit einer Aufwandsentschädigung entlohnt. Die Studien wurden entsprechend der Richtlinien von Helsinki konzipiert und von der lokalen Ethikkommission bewilligt. Die Teilnehmer selbst waren unwissend bezüglich der Studienabsichten. Das Projekt wurde durch das Centrum für Schlaganfallforschung (CSB) und die EUWAX Stiftung drittmittelgefördert.

Normalprobanden

85 Normalprobanden wurden über Zeitungsanzeigen unterschiedlicher Berliner Tageszeitungen, einem Senioren-Computer Club, studentische Emailverteiler, sowie über einen Pool studieninteressierter Freiwilliger rekrutiert. Die Altersspanne der Probanden lag gleichverteilt zwischen 20-75 Jahren.

Die Messungen erfolgten in zwei Sitzungen, an jeweils unterschiedlichen Tagen. In der ersten Sitzung wurde die Krankengeschichte der Probanden aufgezeichnet sowie mittels eines Fragebogens die individuelle Erfahrung im Umgang mit virtuellen Medien erhoben. Zum Zeitpunkt der Erhebung konnten bei den rekrutierten Probanden weder neurologische oder psychiatrische Vorerkrankungen, noch Minderung von Sehleistungen (im Sinne eines Visus <0.5) oder kognitive Defizite festgestellt werden. Sieben Probanden besaßen keinen Führerschein. 12 Teilnehmer mussten aus den weiteren Analysen ausgeschlossen werden (für Näheres siehe: Hamel et al., 2013). Die restlichen 73 Teilnehmer wurden in den weiteren Analysen berücksichtigt.

Patienten mit HH

41 Patienten mit chronischer HH wurden in einem Zeitraum von über 2 Jahren an den Kliniken für Neurologie der Charité Universitätsmedizin zu Berlin rekrutiert. Einschlusskriterien für die Studie waren eine infarkt- oder blutungsbedingt erworbene homonyme Hemianopsie (definiert als nicht mehr als 5° residuellen Sehens im blinden Gesichtsfeld) infolge der Schädigung postchiasmaler Gehirnstrukturen. Die Patienten durften nicht älter als 75 Jahre alt sein. Zwischen dem Zeitpunkt der Hirnschädigung und dem der Untersuchung sollten mindestens 6 Monate verstrichen sein (chronische Phase nach Schlaganfallereignis).

Zur genauen Lokalisierung sowie Beurteilung des Läsionsausmaßes wurde im Rahmen der standardmäßigen Primärdiagnostik eine neuroradiologische Bildgebung (zerebrale Computer- oder Magnetresonanztomographie) durchgeführt. In diesem Zusammenhang objektivierete, vorangegangene, klinisch inapparente Territorialinfarkte führten zu einem Studienausschluss des entsprechenden Patienten.

Weitere Ausschlusskriterien für die Studienteilnahme waren kognitive Einbußen (Dementielle Syndrome, Aphasien oder Neglect), ophthalmologische Erkrankungen (Glaukom, Katarakt, fortgeschrittene Maculadegeneration, visuelle Sehschärfe <0.5), motorische Einschränkungen, Ataxien und andere schwerwiegende neurologische oder psychiatrische Vorerkrankungen (z.B. Epilepsie oder schizoide Störungsbilder).

Zum Untersuchungszeitpunkt (mind. 6 Monate nach Ereignis) wurden die Patienten medizinisch, neurologisch, neuropsychologisch sowie psychiatrisch standardisiert untersucht.

Das Ausmaß der Gesichtsfeldeinschränkung wurde mittels einer monookular erhobenen automatisierten 30° Schwellenperimetrie (30-2 Strategie, „SITA“, swedish interactive threshold algorithm, mit 76 visuellen Feldpositionen über die 30° des zentralen Gesichtsfeldes), sowie mittels einer automatisierten 80° Perimetrie (101 visuelle Feldpositionen) erhoben (Humphrey Field Analyzer II, Carl Zeiss Meditec Inc., Dublin, CA). Anhand der durchgeführten 30° Schwellenperimetrie klassifizierten wir den homonymen Gesichtsfelddefekt nach den vorgeschlagenen Kriterien von Wood und Kollegen (Wood et al., 2011) als inkomplett/ komplett. Das Ausmaß des visuellen Gesichtsfelddefektes quantifizierten wir mittels der Anzahl nicht erkannter visueller Feldpositionen in der 80° Perimetriemessung.

8 Patienten wurden im weiteren Verlauf aufgrund erfüllter Ausschlusskriterien nicht weiter einbezogen. Sechs Patienten sagten ihre Teilnahme ohne weitere Angabe von Gründen ab und 13 Patienten mussten aus der Studie wegen des signifikanten Rückganges ihres Gesichtsfelddefektes zum Untersuchungszeitpunkt ausgeschlossen werden.

14 Patienten (mittleres Alter 57.21 ± 14.42 SD, davon 7 weiblich) wurden in die weiteren Messungen und Analysen einbezogen. Eine Kontrollgruppe von 14 Normalprobanden wurde aus dem Normalprobandenkollektiv nach Alter, Geschlecht, Händigkeit, Videospieleerfahrung und Fahrerfahrung zum Patientenkollektiv gematcht.

Studienaufbau

Versuchsaufbau

Für fotografische Abbildungen und Videoaufzeichnungen des im Folgenden vorgestellten Versuchsaufbaus, siehe Hamel et al., (2012).

Die Teilnehmer wurden in einem Fahrsimulator-Versuchsaufbau untersucht. Die reale Fahrsituation wurde mithilfe eines Autositz-imitierenden Stuhls nachgebildet, welcher mit einem vorgebauten Lenkrad samt Blinkern sowie Brems- und Gaspedalvorrichtungen

verbunden war. Wir programmierten drei Fahrscenarien unterschiedlicher Komplexität (Reizdichte, periphere/zentrale Reize) mit der Software SILAB (SILAB 3.0, Würzburg Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW)), in welcher wir die Reaktionsleistung der Probanden aufzeichnen konnten (Hamel et al, 2012).

Die Software wurde mit einer am Kopf des Probanden montierten Augen- und Kopfbewegungskamera (binokularer, infrarotgesteuerter- videokontrollierter Pupillentracker, sampling Rate 100 Hz) verbunden, mit welcher wir während der Fahraufgabe, die Augen- und Kopfbewegungen der Teilnehmer aufzeichnen konnten (Eye See Cam Munich, Klinische Neurowissenschaften, Universitätsklinik München, Deutschland). Vor jeder Fahraufgabe wurde die Augen- und Kopfbewegungskamera mithilfe einer 5-Punkt Fixationsserie kalibriert.

Ein Beamer (Canon SX 80 Mark II, Auflösung von 1400 x 1050 Pixel) projizierte die visuellen Informationen auf eine Leinwand (1,52m hoch, 2,03m weit), die 2 m entfernt vom Kopf des Patienten aufgespannt war. Der Mittelpunkt der Leinwand war auf Augenhöhe des Probanden durch die Mittellinie hindurch ausgerichtet, sodass 58,15° von der horizontalen Achse und 43,61° von der vertikalen Achse des Gesichtsfeldes durch die Leinwand abgedeckt wurden.

Fahraufgabe

Wir entwickelten drei verschiedene Fahrscenarien, welche allesamt auf einer 6,5 km langen (11 Minuten Fahrdauer) Landstraßenstrecke aufgebaut wurden. Die Umgebung wurde entsprechend der Reizdichte moduliert (Hamel et al., 2012).

Das erste Fahrscenario war eine Strecke mit freier Sicht und entsprechend niedriger landschaftlicher Reizdichte (Felder mit Strohballen und grasenden Nutztieren), das zweite Szenario eine reizdichte Strecke mit eingeschränkter Übersicht (Häuser und Wälder) und das dritte Szenario eine Strecke mittlerer Reizdichte (Bäume links und rechts der Fahrbahnbegrenzungen). Die drei Szenarien waren vom strukturellen Aufbau hinsichtlich des Streckenverlaufs identisch und unterschieden sich nur in der modulierten Reizdichte der Umgebung.

In jedem der drei Szenarien erschienen und kreuzten 8 Objekte (4 Wildschweine, 4 farbige Bälle) aus zwei unterschiedlichen Ekzentritäten (nah/fern) und von beiden Seiten des Gesichtsfeldes (rechts/links) kommend, die Fahrbahn.

Die Teilnehmer wurden angehalten so zu fahren, wie sie es im realen Leben gewohnt waren. Auf die aufkommenden Reize sollten sie so schnell wie möglich mittels Betätigung der Blinker oder mithilfe des Bremspedals reagieren. Um eine Kollision mit

den Objekten zu vermeiden, konnten die Probanden entweder das Tempo mit Betätigung des Bremspedals verringern oder das Gefährt zum Stoppen zu bringen. Die Teilnehmer wussten nicht, wie viele Objekte aufkommen würden.

Die Geschwindigkeit wurde mittels eines Tempomats auf 70km/h festgelegt. Mit Betätigung des Gaspedals, beschleunigte das Gefährt langsam und stetig auf die eingestellte Höchstgeschwindigkeit. Mithilfe der Bremse konnte man die Geschwindigkeit adaptieren. Wir richteten den Tempomaten ein, um für eine mögliche Kompensierungsstrategie durch eigenständige Geschwindigkeitsregulation zu kontrollieren (Hamel et al., 2012, Bahnemann et al., 2015).

Die Probanden hatten vor den Messungen Zeit sich in Übungsszenarien an den Fahrsimulator und die Simulationssituation zu gewöhnen. Die Patienten fuhren während der Messungen alle drei Szenarien, die Normalprobanden nur das reizarme und reizdichte Szenario.

Im Anschluss an jedes Fahrscenario wurden die Teilnehmer gebeten ihre eigene Leistung auf einer 4-Punkte Skala einzuschätzen (geringe, mittlere, beinahe gute und gute Leistung).

Fragebogen

Wir erstellten einen Fragebogen, um die Häufigkeit, Art und Dauer der individuellen Videospielderfahrung standardisiert zu erheben. Dabei unterschieden wir in der Art der Videospielderfahrung zwischen virtuellen, eindimensionalen Strategie-Spielen (wie Tetris, Kartenlegen) und animierten Videospielen (Actionspiele, Autorennspiele), welche eine schnelle, strategische Auffassungsgabe in Situationen erforderten. Anhand des Fragebogens teilten wir die Probanden in drei Gruppen nach ihrer Erfahrung ein: Wenig Erfahrung (Animationsfreie Spiele, wie Tetris, n=39, mittleres Alter 56,33), moderate Erfahrung (1-2 verschiedene animierte u./o. simulierte Spielart-erfahrungen, n=22, mittleres Alter 36,18) und ausgeprägte Erfahrung (≥ 2 verschiedene, regelmäßig gespielte animierte Videospielderfahrungen n=12, mittleres Alter 27,5).

Testparameter

Die SILAB Software zeichnete die Reaktionszeiten auf die präsentierten Stimuli (Blinker oder Bremspedal) sowie die von der Augen- und Kopfbewegungskamera übertragenen Daten der durchgeführten Augen- und Kopfbewegungen auf.

Wir benutzten das MATLAB Programm (Math Works Company, Natick, USA), um die experimentell erhobenen Daten aufzubereiten und zu analysieren. Sakkaden wurden

definiert als die Abschnitte der Blickgeraden, in welchen die Geschwindigkeit $30^\circ/s$ überschritt und die Blickamplitude größer als 1° war. Die Abschnitte zwischen den jeweiligen Sakkaden wurden als Fixationen gewertet.

Kopfbewegungen wurden als solche definiert, wenn sie in der Geschwindigkeit $6^\circ/s$ überschritten und in ihrer Amplitude größer als 3° waren (Freedman, 2008). Ein Blick auf ein Objekt wurde als solcher gewertet, wenn seine Position maximal $1,24^\circ$ auf der X-Achse und $1,66^\circ$ auf der Y-Achse des lokalisierten Objektes entfernt lag. Die durchgeführte mittlere Fixationsdauer, sowie die Verteilung der Fixationen auf der horizontalen und vertikalen Leinwand-Achse (als definierte Varianz der Fixationspunkte auf der Leinwand), wurden ebenfalls berechnet. Augen- und Kopfbewegungen, die gleichzeitig durchgeführt und in entgegengesetzte Richtungen der allgemeinen Blickbewegungsrichtung führten, wurden aus der Analyse herausgenommen, da sie keinen Zuwachs der Blickamplitude generierten. Sie wurden als vestibulookuläre Reflexe (VOR) interpretiert und nicht zu den eigentlichen Kopfbewegungen gezählt, die Teil des visuellen Explorationsverhaltens waren.

Die Reaktionszeiten auf Objekte wurden mittels manueller Reaktionszeit und erster Fixations-/–oder manueller Detektionszeit erhoben, sowie die Anzahl der nicht detektierten Objekte gezählt.

Statistische Analysen

Normalprobanden

Für die statistischen Analysen benutzten wir Linear Mixed Models (LMM), in welchen wir Fixed Effects und Random Factors einfügen konnten. Effekte mit einem t-Wert größer als ± 2 wurden als signifikant gewertet (Kliegl et al., 2010; Ohl et al., 2011). Die Funktionen für die Berechnung der LMMs stammten aus dem lme4 Packet (Bates and Maechler, 2010) und wurden in R (R Development Core Team, 2010) gerechnet. Die Exzentrizität der Objekte wurde mit 0 für „nah“ (10 m von dem Straßenverlauf) und 1 für „fern“ (30 m vom Straßenverlauf) auftretende Objekte kodiert. Die Schwierigkeitsgrade der Fahrszenarios wurden mit 0 für das erste, reizarme Fahrszenario und mit 1 für das zweite, komplexere Fahrszenario kodiert. Die Baseline Gruppe für die Dummy Variablen war „wenig Videospieleerfahrung“ und wurde mit 0 für „ausgeprägte“ und „mittlere Videospieleerfahrung“ kodiert. Die Dummy Variable „mittlere Videospieleerfahrung“ wurde mit 1 für „ja“ und 0 für „nein“, da „ausgeprägte Videospieleerfahrung“ oder Baseline Gruppe kodiert. Die Dummy Variable „ausgeprägte Videospieleerfahrung“ wurde mit 1 für

„ja“ und 0 für „nein“, da moderate Videospieleerfahrung oder Baseline Group kodiert. Das Geschlecht wurde mit 0 für männlich und 1 für weiblich definiert. Die Variable Alter war gleichförmig verteilt in der Altersspanne von 20-75 Jahren und um den Mittelwert zentriert (Mittel = 0.000548, SEM = 0.964175). Korrelationsanalysen wurden über das Paket polycor (Fox, 2007) in R gerechnet.

Patienten-und Kontrollgruppen

Für die statistischen Analysen der Patientendaten benutzten wir das Programm SPSS in der Version 22 (IBM SPSS Statistics, Armonk, NY, USA).

Zunächst schauten wir nach gruppenspezifischen Unterschieden bezüglich der demographischen Variablen (Alter, Geschlecht, Händigkeit, Videospieleerfahrung, Führerscheinbesitz), Seite des visuellen Defekts (R/L), des Defektausmaßes (komplett/inkomplett), des zwischen Ereignis-und Untersuchungszeitpunkt verstrichenen Zeitraumes, sowie der subjektiven Einschätzung der individuellen Fahrleistung. Dafür benutzten wir das unabhängige t-Test Verfahren oder den exakten Fisher Test.

Um den Einfluss des visuellen Explorationsverhaltens auf die erfolgreiche Detektionsleistung der Probanden in dem Fahrsimulator Versuchsaufbau festzustellen, teilten wir die Patientengruppe in 2 Untergruppen nach dem Median ihrer in den ersten zwei Fahrszenarios (s.o.) erbrachten Fahrleistungen. Die Fahrleistung wurde anhand der Anzahl nicht detektierter Objekte definiert: High Performer (HP, n=6) waren Probanden die < 2 Objekte nicht erkannten, Low Performer (LP, n=8), diejenigen die ≥ 2 Objekte nicht erkannten.

Unterschiede in den Augen-und Kopfbewegungsparametern sowie manuellen Reaktionszeiten (blindes vs. sehendes Gesichtsfeld bei den Patienten und respektive rechtes vs. linkes Halbfeld bei den Normalprobanden (Kraft et al., 2011) zwischen den zwei Patientengruppen (HP, LP) und der Kontrollgruppe wurden mit Kruskal-Wallis Analysen für mehrere unabhängige Stichproben und post hoc paarweisen Testungen mittels der Dunn's Prozedur und Bonferroni Korrektur für mehrfache Vergleiche erhoben.

Ergebnisse

Die nachfolgenden Graphiken wurden mithilfe des Pakets ggplot2 (Wickham, 2009) im R Environment (R Development Core Team, 2010) erstellt.

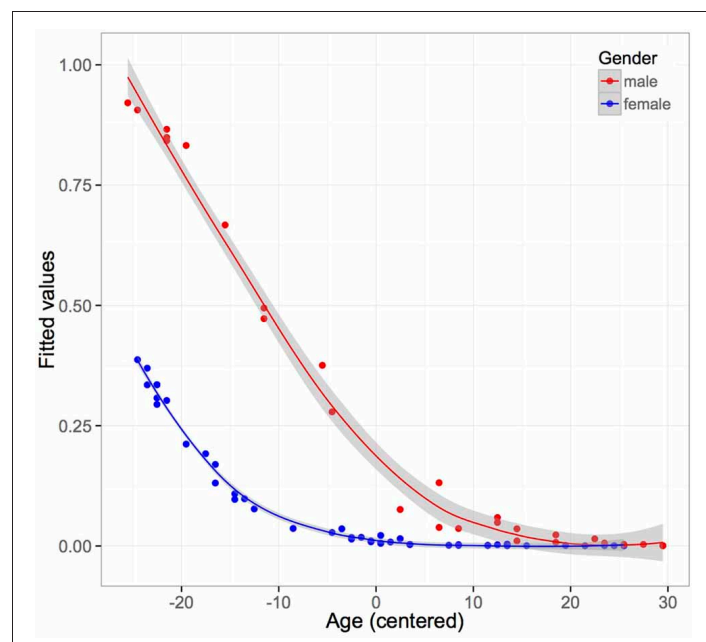
Ergebnisse der Normalprobanden

Für eine vollständige Übersicht der im Folgenden erwähnten statistischen Modellanalysen (Regressionsmodelle, LMM) in Form von Tabellen siehe (Hamel et al., 2013).

Videospielerfahrung und Alter

Um ein besseres Verständnis über die Variable Videospielerfahrung zu erlangen, rechneten wir ein binomiales, logistisches Regressionsmodell mit Videospielerfahrung als abhängige Variable und Alter, Geschlecht, Anzahl der aktiven Fahrerfahrungsjahre als Prädiktoren. Das Modell zeigte, dass Videospielerfahrung deutlich wahrscheinlicher bei männlichen jungen Teilnehmern auftrat (Geschlecht $p < 0.001$, Alter $p < 0.02$). Ein Effekt, der einen wichtigen Einfluss der Variable auf die erhobenen Daten abzeichnete (siehe Figur 1).

Desweiteren konnten wir eine stark negative Korrelation ($r = -0.76$) zwischen dem Alter und den unterschiedlichen Gruppen der Videospielerfahrung feststellen: Teilnehmer mit ausgeprägter Videospielerfahrung waren demnach deutlich jünger als Patienten mit wenig oder mittlerer Videospielerfahrung.



Figur 1: Graphische Darstellung der angepassten Werte des binomialen logistischen Regressionsmodells zur Videospielerfahrung: Junge und männliche Probanden zeigten mehr Videospielerfahrung als alte und weibliche Probanden ($n=73$) (aus Hamel & DeBeukelaer et al., 2013).

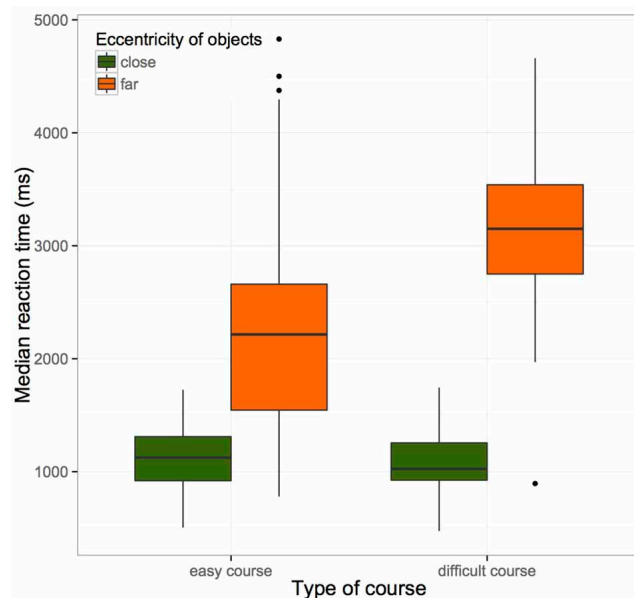
Reaktionszeiten

Alle Objekte wurden erfolgreich von den Teilnehmern erkannt. Um die Kollinearität zwischen den Variablen Alter und den verschiedenen Gruppen von Videospielerfahrung

zu berücksichtigen, erstellten wir vorab zwei separate Regressionsmodelle für die Reaktionszeiten: Mit der Variable Alter und den unterschiedlichen Stufen von Videospiele Erfahrung als Hauptprädiktoren. Beide Modelle ergaben ähnlich geschätzte Regressionskoeffizienten, sodass wir uns dafür entschieden, das Alter sowie die unterschiedlichen Gruppen von Videospiele Erfahrung als mögliche Prädiktoren in das LMM einzuführen, wissend, dass wir weder den Videospieleffekt noch den Alterseffekt getrennt voneinander beurteilen können (siehe Unterpunkt: Videospiele Erfahrung und Alter).

Wir definierten die mediane manuelle Reaktionszeit als abhängige Variable und das Alter, sowie die Dummy Variablen der Videospiele Erfahrung, die Schwierigkeit des Fahr Szenarios und die Objektekzentrität als Fixed Effects, sowie die entsprechenden zweiseitigen Interaktionen. Das Subjekt wurde als Random Factor behandelt.

Wir konnten einen signifikanten Haupteffekt der Objektekzentrität auf die manuelle Reaktionszeit ausmachen, sowie einen signifikanten Interaktionseffekt von der Schwierigkeit des Szenarios und der Ekzentrität des Objekts. Die Probanden reagierten langsamer auf peripher auftretende Objekte. Dieser Effekt verstärkte sich, wenn die Reizdichte der Szenarien zunahm (siehe Figur 2).



Figur 2: Boxplots der medianen manuellen Reaktionszeit (in ms): Teilnehmer reagierten schneller auf nahe als auf entfernte Reize. Der Effekt wurde durch die Schwierigkeit des Fahr Szenarios verstärkt (aus Hamel & DeBeukelaer et al., 2013).

Vergleichbare Ergebnisse zeigten sich bei der Auswertung der ersten Fixations- oder Detektionszeit von Objekten als abhängige Variable des LMMs: Entfernt auftretende

Objekte sowie die Interaktion von Objektekzentrizität und Reizdichte der Szenarien sagten eine signifikante Verlangsamung der Detektionszeit voraus.

Neben dem deutlichen Ekzentrizitätseffekt, konnte außerdem eine marginal signifikante Abnahme der manuellen Reaktionszeit durch die Interaktion zwischen der Objektekzentrizität und ausgeprägter Videospieelerfahrung vorhergesagt werden: Die manuelle Reaktionszeit zu entfernt gelegenen Objekten nahm tendenziell ab, wenn die Videospieelerfahrung des Probanden ausgeprägter war.

Explorationsverhalten

Wir definierten die mittlere Fixationsdauer, die mittlere Blickamplitude, die Anzahl der Sakkaden, die Verteilung der Fixationen auf der X-Achse der Leinwand sowie die Anzahl der durchgeführten Kopfbewegungen als jeweils abhängige Variablen.

Da wir an den Effekten des Alters und der Videospieelerfahrung interessiert waren, führten wir erneut beide Variablen als mögliche Prädiktoren ein, wissend, dass wir ihre Wirkung nicht getrennt voneinander interpretieren konnten. Die Variable der Videospieelerfahrung war in unserer Stichprobe bezüglich des Alters nicht gleichmäßig verteilt, da kein älterer Proband eine ausgeprägte Erfahrung mit animierten Videospielen aufzeigen konnte. Aus diesem Grund können unsere Regressionsmodelle extrapoliert und überangepasst sein. Fixed Effects waren Alter, Videospieelerfahrung, Ekzentrizität der Objekte und die Reizdichte der Fahrszenarios, sowie ihre jeweiligen, zweiseitigen Interaktionen. Das Subjekt wurde als Random Factor behandelt.

Wir konnten keinen alleinigen Alterseffekt in den ausgewählten Augenbewegungsparametern (Anzahl an Sakkaden, mittlere Blickamplitude, Varianz an Fixationen auf der X-Achse) feststellen. In der Verteilung der Fixationen auf der Horizontalen, konnte jedoch ein leichter Effekt ausgeprägter Videospieelerfahrung festgestellt werden: Probanden mit ausgeprägter Videospieelerfahrung erweiterten demnach den Überblick über ihr Blickfeld bei Durchführung der Fahraufgabe. Dementsprechend konnte ein schmaler Interaktionseffekt von ausgeprägter Videospieelerfahrung und Alter auf die Varianz der Fixationen ausgemacht werden: Je jünger und erfahrener die Probanden in animierten Videospielen waren, umso breiter war ihre horizontale Verteilung an Fixationen auf der Leinwand. Die Probanden mit ausgeprägter Videospieelerfahrung führten außerdem breitere Blickamplituden während des Fahrens durch.

Wir konnten einen signifikanten Haupteffekt des Alters auf die Anzahl an durchgeführten Kopfbewegungen während der Fahraufgabe feststellen. Die Interaktion zwischen

mittlerer Videospieleerfahrung und Alter konnte eine Abnahme durchgeführter Kopfbewegungen voraussagen: Je älter die Probanden waren, umso mehr Kopfbewegungen führten sie durch. Wenn sie zudem über eine moderate Videospieleerfahrung verfügten, nahm die Anzahl der durchgeführten Kopfbewegungen jedoch ab.

Ergebnisse der Patienten

Für eine vollständige Übersicht der im Folgenden erwähnten statistischen Modellanalysen (Demographische Variablen, Regressionsmodell) in Form von Tabellen und Graphiken siehe Bahnemann et al., 2015.

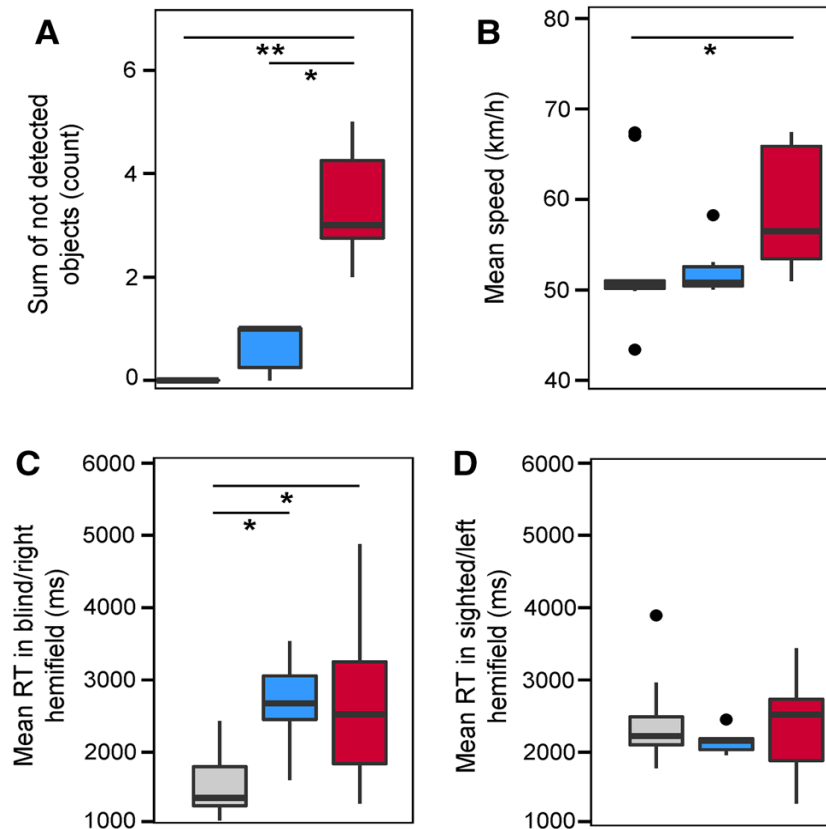
Demographische Variablen

Bezüglich der demographischen Variablen (Alter, Geschlecht, Händigkeit, Videospieleerfahrung, Besitz einer Fahrerlaubnis, Anzahl der Jahre des aktiven Fahrens) konnten wir weder zwischen der Patienten- und Kontrollgruppe, noch den beiden Patientensubgruppen, HP und LP, einen signifikanten Unterschied feststellen.

Unter den Patientensubgruppen, HP und LP, konnten wir ebenfalls keinen signifikanten Unterschied für die Variablen des Zeitintervalls (Rekrutierungszeitpunkt-Untersuchungszeitpunkt), der Läsionsseite (rechts, links) oder des Ausmaßes des homonymen Gesichtsfelddefektes feststellen.

Reaktionszeiten

Die Normalprobanden erkannten alle präsentierten Objekte (siehe Ergebnisse), die Patienten detektierten alle in ihrem jeweils sehenden Gesichtsfeldbereich präsentierten Objekte. Ein statistisch signifikanter Unterschied konnte in der erfolgreichen Detektion präsentierter Objekte im blinden Gesichtsfeld der Patientengruppe und dem im Vergleich rechten Gesichtsfeld der Normalprobanden festgestellt werden ($\chi^2(2) = 23.596$, $p < 0.001$). Die LP Subgruppe detektierte signifikant weniger Objekte, im Vergleich zur HP Subgruppe ($p = 0.006$) oder der Kontrollgruppe ($p < 0.001$, siehe Figur 3A).



Figur 3: Boxplots der Detektions- und Reaktionszeiten und mittlere Geschwindigkeit (grau = Kontrollgruppe, blau=HP, rot=LP): A Verteilung der Anzahl nicht detektierter Objekte, B Verteilung der mittleren Geschwindigkeit, C Verteilung der mittleren manuellen Reaktionszeit in das blinde/rechte Hemifeld, C Verteilung der mittleren manuellen Reaktionszeit in das sehende/linke Gesichtsfeld. Punkte kennzeichnen Ausreißer. Striche markieren die statistisch signifikanten, durchgeführten Gruppenvergleiche, ein Stern kennzeichnet $p < 0.05$, zwei Sterne $p < 0.005$ (aus Bahnemann et al. 2015).

Auch wenn wir einen Tempomaten als Geschwindigkeitskontrolle festlegten, konnten wir einen statistisch signifikanten Unterschied für die Geschwindigkeit feststellen (Chiquadrat(2)=9.161, $p=0.010$, siehe Figur 3B), wobei die LP Subgruppe signifikant schneller fuhr, als die Kontrollgruppe ($p=0.009$).

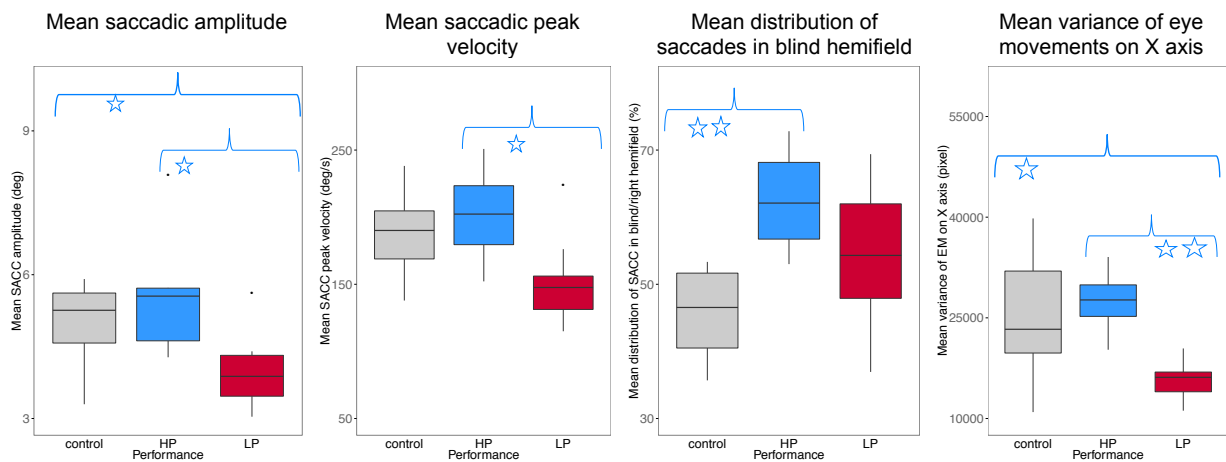
Manuelle Reaktionszeiten in das blinde Gesichtsfeld der Patienten sowie das respektive rechte Gesichtsfeld der Kontrollgruppe, unterschieden sich signifikant (chiquadrat(2)=12.142, $p=0.002$, siehe Figur 3C). Die Schnelligkeit der manuellen Reaktionszeit in das jeweils sehende Gesichtsfeld der Patientengruppe und das respektive linke Gesichtsfeld der Kontrollgruppe unterschied sich jedoch nicht (Chiquadrat(2) =0.948, $p=0.622$) (siehe Figur 3D).

Bei Nachfrage, ihre erbrachte Leistung subjektiv zu bewerten, konnten wir keinen signifikanten Gruppenunterschied zwischen der LP und HP Subgruppe feststellen ($p=0.023$). Die LP Subgruppe war sich ihrer geringeren Performance nicht bewusst und bewertete dementsprechend ihre erbrachte Leistung als gut.

Explorationsverhalten

In der Auswertung der Augenbewegungsparameter konnten wir signifikante Unterschiede zwischen den drei Gruppen bezüglich der mittleren sakkadischen Amplitude ($\chi^2(2)=8.681$, $p=0.013$, siehe Figur 4.1) und der Peak Velocity der Sakkaden ($\chi^2(2)=8.031$, $p=0.018$) feststellen (siehe Figur 4.2).

Die LP führten deutlich schmalere Blickamplituden sowie mittlere Peak Velocities durch, als die Kontroll- ($p=0.031$) oder die HP Gruppe ($p=0.03$). Die HP hingegen zeigten im Vergleich eine signifikant breitere Verteilung von Fixationen auf der X-Achse (siehe Figur 4.4) der Leinwand als die LP- ($p=0.03$), oder die Kontrollgruppe ($p=0.015$) und führten darüber hinaus deutlich mehr Sakkaden in Prozentzahl in ihrem blinden (Patienten) respektive rechten (Normalprobanden) Gesichtsfeld durch ($p=0.002$, siehe Figur 4.3).



Figur 4: Boxplots der Augenbewegungsparameter (grau=Kontrollgruppe, blau=HP, rot=LP): 4.1 Verteilung der mittleren Blickamplitude, 4.2 Verteilung der mittleren Peak Velocity, 4.3 Verteilung der Anzahl an durchgeführten Sakkaden im blinden Hemifeld, 4.4 Verteilung der Varianz an Fixationen auf der X-Achse. Punkte kennzeichnen Ausreißer. Die Klammern zeigen die statistisch signifikant durchgeführten Gruppenvergleiche auf, zwei Sterne kennzeichnen $p<0.005$, ein Stern kennzeichnet $p<0.05$ (aus Bahnemann et al, 2015).

Die Varianz an Fixationen auf der Y-Achse, die Anzahl der Sakkaden, die Dauer der Fixationen sowie die Dauer der Sakkaden unterschieden sich in den drei Gruppen nicht signifikant. Ebenso zeigte die Analyse der Kopfbewegungsparameter (Anzahl, mittlere

Dauer, Amplitude sowie Peak Velocity) keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen.

Um die Parameter auszumachen, welche die Detektionsleistung von Objekten maßgeblich vorhersagen könnten, führten wir eine schrittweise, subsequente Regressionsanalyse durch. Wir definierten die Anzahl nicht detektierter Objekte als abhängige Variable und die mittlere Fahrgeschwindigkeit, die manuelle Reaktionszeit, das Alter, die Seite sowie das Ausmaß der Gesichtsfeldläsion und die Verteilung der Fixationen auf der X-Achse als unabhängige Variablen. Aufgrund der Multikollinearität zwischen der Mean Peak Velocity und der Mean Saccadic Amplitude ($r > 0.7$, $r = 0.937$), wie erwartet im Rahmen der Main Sequence Beziehung (Bahill et al., 1975) sowie zwischen der mittleren Sakkadenamplitude und der Varianz an durchgeführten Fixationen auf der X-Achse ($r = 0.944$), entschlossen wir uns dafür, nur die Varianz der Fixationen auf der X-Achse als Prädiktor in das Regressionsmodell einzuschließen.

Die schrittweise Regressionsanalyse mündete in ein Single-Factor Modell mit der Varianz an durchgeführten Fixationen auf der X-Achse als alleinigen Prädiktor der Anzahl nicht detektierter Objekte. Die Breite der verteilten Fixationen über die Leinwand sagt somit statistisch signifikant die Anzahl nicht detektierter Objekte über die Fahraufgaben hinweg voraus ($F(1,12) = 10.041$, $p = 0.008$, adj. $R^2 = 0.41$).

Diskussion

Diskussion der Normalprobandenstudie

Wir konnten in unserem Versuchsaufbau keine altersrelevanten Veränderungen bezüglich der Augenbewegungsparameter oder Reaktionszeiten auf aufkommende Objekte feststellen, die für eine Abnahme des funktionellen Gesichtsfeldes im Sinne eines frühen Zeichens visuoperzeptiven Funktionsabbaus sprechen könnten. Hierbei muss angemerkt werden, dass unser Studienkollektiv vergleichsweise jung war und eine Veränderung in den Augenbewegungsparametern, z.B. in Form verlangsamter Sakkaden, wie sie in Laborsituationen bei älteren Probanden aufgezeichnet werden konnten, (Moschner and Baloh, 1994) in älteren Versuchsgruppen vielleicht reproduzierbar wären. Wir nehmen an, dass wir in unserem Versuchsaufbau die Rahmenbedingungen für ein UFOV relevantes Paradigma erfüllt haben, da wir einen maßgeblichen Haupteffekt der Ekzentrizität aufkommender Objekte auf die Reaktionsgeschwindigkeit feststellen konnten, der sich in reizdichteren Strecken verstärkte (Rogé et al., 2004). Nichts desto trotz kann man hier einwenden, dass eine

zentrale Aufgabe sowie stressreichere Situationen, die Komplexität gesteigert und parallele Verarbeitung sensorischer Reize sowie entsprechende Adaptierungsleistungen der Probanden herausgefordert hätten (Williams, 1988). Um die möglichen altersbedingten Veränderungen in Situationen mit wechselndem und mehrfach-sensorischem Pensum zu erfassen, bedarf es weiterer Untersuchungen.

Wir konnten allerdings aufzeigen, dass Probanden mit zunehmendem Alter vermehrt Kopfbewegungen durchführten, was ihnen zu einer breiteren Blickamplitude verhalf und von uns als das Blickfeld erweiternde Adaptationsleistung interpretiert wurde. Diese Ergebnisse waren mit denen aus einer vorherigen Studie vereinbar (Proudlock et al., 2004). Ergänzend kann angemerkt werden, dass wir in diesem Versuchsaufbau nicht für die Dauer als möglichen modulierenden Faktor des visuellen Explorationsverhaltens kontrolliert haben. Man könnte sich vorstellen, dass mit zunehmender Fahrzeit altersrelevante Differenzen in den Parametern des funktionellen Gesichtsfeldes, ausgemacht und sichtbar gemacht werden könnten, beispielsweise im Sinne einer schnelleren Ermüdbarkeit und Modulation der visuell-räumlichen Aufmerksamkeit der Probanden.

Wir konnten zeigen, dass die Erhebung des Parameters der Videospieleerfahrung in Simulatorstudien von besonderer Bedeutung ist. In der Tat verteilten videospieleerfahrene Probanden ihre Augenbewegungen breiter auf der Leinwand, und übten größere Blickamplituden durch, um das Gesichtsfeld im Gesamten zu überblicken. Dieses Verhalten wirkte sich in einer schnelleren manuellen Reaktionszeit auf aufkommende Objekte aus. Die Beobachtungen entsprachen vorherigen Studienergebnissen, welche eine erhöhte visuell-räumliche Aufmerksamkeit und trainierte motorische Reaktionsfertigkeit von Probanden mit ausgeprägter animierter Videospieleerfahrung aufgezeichnet hatten (Green and Bavelier, 2012).

Anguera und Kollegen konnten in diesem Sinne in ihrer Studie einen positiven Trainingseffekt in der kognitiven Performanz älterer Probanden (60-85 Jahre) durch ein 3-D animiertes Videofahrspiel feststellen. Das Videospieletraining verbesserte über einen längeren Zeitraum hinweg die anhaltende Aufmerksamkeit sowie das Kurzzeitgedächtnis der eingeschlossenen Probanden im Vergleich zur Kontrollgruppe. Ein Effekt, der sich in einem Anstieg der mittleren frontalen Theta-Power der EEG Ableitung widerspiegelte (Anguera et al., 2013).

Eine ordentliche, getrennte Betrachtung des Alters und der Videospieleerfahrung können wir in unserem Versuchsaufbau jedoch nicht durchführen, da diese Parameter hoch

korreliert und verbunden in einem Bevölkerungsquerschnitt zwischen 20-75 Jahren zu sein scheinen. Um diesem Fall zu entgehen, müsste man dezidiert Studien mit Videospieldunerfahrenen jungen Probanden oder Videospielderfahrenen älteren Probanden durchführen (Anguera et al., 2013). In jedem Fall sollte in zukünftigen Simulatorstudien die mögliche Auswirkung der Videospielderfahrung auf die Daten berücksichtigt werden, damit diese nicht als verdeckter Alterseffekt missinterpretiert werden kann.

Diskussion der Patientenstudien

Wir konnten Unterschiede im visuellen Explorationsverhalten der Patienten mit homonymer Hemianopsie im Vergleich zu Normalprobanden sowie innerhalb der unterschiedlichen Patientensubgruppen, der HP und LP, feststellen und somit bisherige Studienergebnisse (Lövsund et al., 1991; Papageorgiou et al., 2012) bestätigen. Die Patienten, die in der Fahraufgabe eine gute Leistung erbrachten, richteten gezielter ihre Augenbewegungen in ihr jeweils blindes Feld und sorgten besonders mithilfe einer breiteren Verteilung der Fixationen auf der Leinwand für die Integrität der visuellen Wahrnehmung des gesamten Gesichtsfeldes. In der Tat besaßen Patienten eine höhere Wahrscheinlichkeit präsentierte Objekte zielsicher zu erkennen, wenn sie ihre Fixationen breit über die Leinwand verteilten (Bahemann et al., 2015). Ebenso konnten Papageorgiou und Kollegen aufzeigen, dass Patienten mit HH, die eine gute Leistung in der Fahraufgabe erbrachten, ihr blindes Gesichtsfeld offener erkundeten, als Patienten, die eine geringere Leistung aufwiesen. Sie führten mehr Kopfbewegungen, breitere Blickamplituden und vermehrte Fixationen auf präsentierte Objekte durch, und zeigten u.a. längere Blickwege auf (Papageorgiou et al., 2012).

Kompensatorische Augenbewegungsmuster erlaubten es den Patienten demnach in dynamischen, realitätsnahen Versuchsaufbauten, eine bessere Leistung zu erbringen und somit für ihr visuelles Defizit adäquat zu kompensieren (Zihl, 1995; Hamel et al., 2012).

Die Patienten, die eine geringere Leistung in der Fahraufgabe aufzeigten, waren sich des Ausmaßes ihres visuellen Defizits und dessen Auswirkungen jedoch nicht bewusst. Eine problematische Feststellung, da die Betroffenen vermutlich in alltagsrelevanten Situationen Schwierigkeiten erfahren haben, welche sie durch fehlendes, bewusstes Erleben ihres Defizits nicht realitätsgetreu einordnen, gewichten und entsprechend über ihre Einbußen berichten konnten.

Eine schwierige Situation ebenfalls für den Arzt im therapeutischen Kontext, der in der

klinischen Erhebung der Symptome, aufgrund fehlender subjektiv geschilderter Krankheitszeichen keine unmittelbar differenzierende Einordnung der unterschiedlichen Gruppen von HH vornehmen kann. Eine Einordnung, die jedoch notwendig zu sein scheint, da sie in der klinischen Praxis zu einem therapeutischen Unterschied bei den Patienten mit HH im Sinne des Erwägens anderer rehabilitativer Verfahren führen könnte.

Eine eindeutige Erklärung des unterschiedlichen visuellen Kompensationsverhaltens zwischen den Patientengruppen bei gleichem Defizit und erfüllten Einschlusskriterien (siehe Methodenteil) können wir zu diesem Zeitpunkt nicht geben. Die Seite der Läsion und das Ausmaß des Gesichtsfelddefektes waren keine maßgeblichen Prädiktoren für eine effizientere Detektionsleistung. Das Phänomen „Blindsight“, mithilfe welchen man eine den Normalprobanden vergleichbare Detektionsleistung im blinden Gesichtsfeld erwartet hätte (Azzopardi and Cowey, 1997; Martin et al., 2007), zum Beispiel im Sinne eines dem Action-Blindsight (Danckert and Rossetti, 2005) Modell ähnelnden Verhaltens, konnten wir in unserem Studienkollektiv nicht ausfindig machen.

Im Rahmen unserer Pilotstudie (Hamel et al., 2012) und im Zuge weiterer Analysen fiel uns jedoch eine Veränderung der Augenbewegungsmuster unter den Teilnehmern der zwei Patientensubgruppen auf: Mit andauernder Zeit und zunehmender Fahrerfahrung, schienen einige Teilnehmer aus der Gruppe der LPs zu lernen, ihre Aufmerksamkeit gezielt in das blinde Gesichtsfeld zu lenken und weitergehend fokussierte, zielgerichtete Augenbewegungen in ihre blinde Gesichtshälfte durchzuführen. Einige LP lernten ihre Augenbewegungen in ihr blindes Feld zu richten, und einige HP schienen im Versuchsaufbau die ins blinde Gesichtsfeld gerichteten kompensatorischen Augenbewegungen zu optimieren.

Dies könnten Anzeichen für die Möglichkeit sein, Augenbewegungsbasiert visuelle Kompensationsstrategien zu erlernen. Für beide Subgruppen der Patienten mit HH sind jedoch weitere Analysen zum besseren Verständnis der unterliegenden kognitiven Funktionswege sowie der Auswirkung von augenbewegungsbasierten Trainingseffekten von Nöten (Nelles et al., 2009; Bolognini et al., 2005). Inwiefern unser Versuchsaufbau hierfür ein geeignetes Rehabilitationsverfahren (Kerkhoff, 1994; Aimola et al., 2014) darstellen kann, muss in weiteren Untersuchungen mit Patienten evaluiert werden.

Idealerweise wäre unser Versuchsaufbau die Grundlage eines Trainingsverfahrens, welches den Patienten erlaubt, Kompensationsstrategien zu erlernen und sich des individuellen Umgangs mit ihrem Defizit Gewahr zu werden. Weiter könnte die

Auswertung erhobener Daten ein besseres Verständnis der von den Patienten angewandten Kompensationsstrategien sowie deren Fluktuationen und Modulationen ermöglichen. Von Interesse wäre hier besonders, ob und inwiefern mit zunehmender Dauer die Kompensationsstrategien zu Ermüdungserscheinungen und Veränderungen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit führen. Können diese durch Training erworbenen Fertigkeiten auf den Alltag übertragen werden? Hätte dies eine nachhaltige Bedeutung besonders für die Patienten, die sich in unserem Patientenkollektiv ihrer geringen Leistung nicht bewusst waren?

Wir empfehlen unseren Versuchsaufbau zur ersten Beschreibung, Identifikation und weiteren Einordnung des visuellen Explorationsverhaltens von Patienten mit homonymer Hemianopsie nach Schlaganfallereignis. Aufgrund mangelnder Kenntnis der Stabilität beobachteter Kompensationsstrategien und der Übertragbarkeit der erlernten Mechanismen auf den Alltag halten wir uns zum jetzigen Zeitpunkt jedoch ausdrücklich zurück auf der Basis unserer Studienergebnisse eine Empfehlung zur Fahreignung auszusprechen.

Literaturverzeichnis

- Aimola L, Lane AR, Smith DT, Kerkhoff G, Ford GA, Schenk T. Efficacy and Feasibility of Home-Based Training for Individuals With Homonymous Visual Field Defects. *Neurorehabil Neural Repair*. 2014. March;28(3): 207–218.
- Anguera, J. A., Boccanfuso, J., Rintoul, J. L., Al-Hashimi, O., Faraji, F., Janowich, J., et al. (2013). Video game training enhances cognitive control in older adults. *Nature*, 501(7465), 97–101. doi:10.1038/nature12486.
- Azzopardi, P., and Cowey, A. (1997). Is blindsight like normal, near-threshold vision? *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 94, 14190–4. Available at: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=28455&tool=pmcentrez&endertype=abstract>.
- Bahill A. T., Clark M. R., Stark L. (1975). The main sequence, a tool for studying human eye movements. *Math. Biosci.* 24, 191–204 10.1016/0025-5564(75)90075-9
- Bahnemann, M., Hamel, J., De Beukelaer, S., Ohl, S., Kehrner, S., Audebert, H., Kraft, A., and Brandt, S. A. (2015). Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation. *J. Neurol.* 262, 316–325. doi:10.1007/s00415-014-7554-x.

- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L., and Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34, 3110–23. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8407219>.
- Bates D., Maechler M. (2010). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and R syntax, 2010. URL <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>. R package version 0.999375-37.
- Bolognini, N., Rasi, F., Coccia, M., and L??davas, E. (2005). Visual search improvement in hemianopic patients after audio-visual stimulation. *Brain* 128, 2830–2842. doi:10.1093/brain/awh656.
- Bouwmeester, L., Heutink, J., and Lucas, C. (2007). The effect of visual training for patients with visual field defects due to brain damage: a systematic review. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry* 78, 555–64. doi:10.1136/jnnp.2006.103853.
- Cliff, M., Joyce, D. W., Lamar, M., Dannhauser, T., Tracy, D. K., and Shergill, S. S. (2012). Aging effects on functional auditory and visual processing using fMRI with variable sensory loading. *Cortex.*, 1–10. doi:10.1016/j.cortex.2012.04.003.
- Corbetta, M., Marzi, C. a, Tassinari, G., and Aglioti, S. (1990). Effectiveness of different task paradigms in revealing blindsight. *Brain* 113 (Pt 3, 603–16. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/2364262>.
- Crundall, D., Underwood, G., and Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. *Appl. Cogn. Psychol.* 16, 459–475. doi:10.1002/acp.806.
- Crundall, D., Underwood, G., and Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception* 28, 1075–1087. doi:10.1068/p2894.
- Danckert, J., and Rossetti, Y. (2005). Blindsight in action: what can the different subtypes of blindsight tell us about the control of visually guided actions? *Neurosci. Biobehav. Rev.* 29, 1035–46. doi:10.1016/j.neubiorev.2005.02.001.
- Fortenbaugh, F. C., VanVleet, T. M., Silver, M. A., and Robertson, L. C. (2015). Spatial distortions in localization and midline estimation in hemianopia and normal vision.

- Vision Res.* 111(0 0):, 1–12. doi:10.1016/j.visres.2015.03.022.
- Fox J. (2007). Polycor: Polychoric and Polyserial Correlations. R Package Version 0.7-5. Available at: [http://CRAN-R-project.org/package=\\$polycor](http://CRAN-R-project.org/package=$polycor).
- Freedman, E. G. (2008). Coordination of the eyes and head during visual orienting. *Exp. Brain Res.* 190, 369–87. doi:10.1007/s00221-008-1504-8.
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature* 423, 534–7. doi:10.1038/nature01647.
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Curr. Biol.* 22, R197–206. doi:10.1016/j.cub.2012.02.012.
- Hamel, J., De Beukelaer, S., Kraft, A., Ohl, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. A. (2013). Age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting. *Front. Psychol.* 4, 339. doi:10.3389/fpsyg.2013.00339.
- Hamel, J., Kraft, A., Ohl, S., De Beukelaer, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. a (2012). Driving simulation in the clinic: testing visual exploratory behavior in daily life activities in patients with visual field defects. *J. Vis. Exp.*, e4427. doi:10.3791/4427.
- Ishiai, S., Furukawa, T., and Tsukagoshi, H. (1987). Eye-fixation patterns in homonymous hemianopia and unilateral spatial neglect. *Neuropsychologia* 25, 675–9. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3658150> [Accessed February 15, 2014].
- Kliegl, R., Masson, M., and Richter, E. (2010). A linear mixed model analysis of masked repetition priming. *Vis. cogn.* Available at: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13506280902986058> [Accessed May 10, 2013].
- Kraft, A., Kehrner, S., Hagendorf, H., and Brandt, S. a (2011). Hemifield effects of spatial attention in early human visual cortex. *Eur. J. Neurosci.*, 1–10. doi:10.1111/j.1460-9568.2011.07709.x.
- Lövsund, P., Hedin, A., and Törnros, J. (1991). Effects on driving performance of visual field defects: a driving simulator study. *Accid. Anal. Prev.* 23, 331–42. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1883473> [Accessed February 5, 2014].

- Martin, T., Riley, M. E., Kelly, K. N., Hayhoe, M., and Huxlin, K. R. (2007). Visually-guided behavior of homonymous hemianopes in a naturalistic task. *Vision Res.* 47, 3434–46. doi:10.1016/j.visres.2007.09.021.
- Moschner, C., and Baloh, R. W. (1994). Age-related changes in visual tracking. *J. Gerontol.* 49, M235–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8056943>.
- Ohl, S., Brandt, S. a, and Kliegl, R. (2011). Secondary (micro-)saccades: the influence of primary saccade end point and target eccentricity on the process of postsaccadic fixation. *Vision Res.* 51, 2340–7. doi:10.1016/j.visres.2011.09.005.
- Owsley, C., Ball, K., McGwin, G., Sloane, M. E., Roenker, D. L., White, M. F., and Overley, E. T. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 279, 1083–8. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9546567>.
- Papageorgiou, E., Hardiess, G., Mallot, H. a, and Schiefer, U. (2012). Gaze patterns predicting successful collision avoidance in patients with homonymous visual field defects. *Vision Res.* doi:10.1016/j.visres.2012.06.004.
- Pierrot-Deseilligny, C., Müri, R. M., Ploner, C. J., Gaymard, B., and Rivaud-Péchéux, S. (2003). Cortical control of ocular saccades in humans: a model for motricity. *Prog. Brain Res.* 142, 3–17. doi:10.1016/S0079-6123(03)42003-7.
- Pollatsek, a., Romoser, M. R. E., and Fisher, D. L. (2012). Identifying and Remediating Failures of Selective Attention in Older Drivers. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 21, 3–7. doi:10.1177/0963721411429459.
- Pradhan, A. K., Hammel, K. R., DeRamus, R., Pollatsek, A., Noyce, D. a., and Fisher, D. L. (2005). Using Eye Movements To Evaluate Effects of Driver Age on Risk Perception in a Driving Simulator. *Hum. Factors J. Hum. Factors Ergon. Soc.* 47, 840–852. doi:10.1518/001872005775570961.
- Proudlock, F. a, Shekhar, H., and Gottlob, I. (2004). Age-related changes in head and eye coordination. *Neurobiol. Aging* 25, 1377–85. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15465636> [Accessed November 22, 2010].

- R Development Core Team. (2010). R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, (Vienna:). ISBN:3-900051-07-0. <http://www.R-project.org> (software).
- Rogé, J., Pébayle, T., Lambilliotte, E., Spitzenstetter, F., Giselbrecht, D., and Muzet, A. (2004). Influence of age, speed and duration of monotonous driving task in traffic on the driver's useful visual field. *Vision Res.* 44, 2737–44. doi:10.1016/j.visres.2004.05.026.
- Roth, T., Sokolov, A. N., Messias, A., Roth, P., Weller, M., and Trauzettel-Klosinski, S. (2009). Comparing explorative saccade and flicker training in hemianopia: a randomized controlled study. *Neurology* 72, 324–31. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19171828> [Accessed February 16, 2014].
- Rothkopf, C. A., Ballard, D. H., Hayhoe, M. M., and Regan, O. (2007). Task and context determine where you look. *J. Vis.* 7, 1–20. doi:10.1167/7.14.16.Introduction.
- Weiskrantz, L., Warrington, E. K., Sanders, M. D., and Marshall, J. (1974). Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain* 97, 709–28. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4434190>.
- Wickham H. (2009). ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis. Dordrecht: Springer
- Williams, L. J. (1988). Tunnel vision or general interference? Cognitive load and attentional bias are both important. *Am. J. Psychol.* 101, 171–91. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3389419>.
- Wood, J. M., McGwin, G., Elgin, J., Vaphiades, M. S., Braswell, R. a, DeCarlo, D. K., Kline, L. B., and Owsley, C. (2011). Hemianopic and quadrantanopic field loss, eye and head movements, and driving. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 52, 1220–5. doi:10.1167/iovs.10-6296.
- Zihl, J. (1995). Visual scanning behavior in patients with homonymous hemianopia. *Neuropsychologia* 33, 287–303. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7791997> [Accessed February 5, 2014].
- Zihl, J (2005). Zerebrale Blindheit und Gesichtsfeldausfälle, Kapitel 8, S.92-93.

Abbildungsverzeichnis

Figur 1: Graphische Darstellung der angepassten Werte des binomialen logistischen Regressionsmodells zur Videospieleerfahrung: Junge und männliche Probanden zeigten mehr Videospieleerfahrung als alte und weibliche Probanden (n=73) (aus Hamel & DeBeukelaer et al., 2013).

Figur 2: Boxplots der medianen manuellen Reaktionszeit (in ms): Teilnehmer reagierten schneller auf nahe als auf entfernte Reize. Der Effekt wurde durch die Schwierigkeit des Fahr Szenarios verstärkt (aus Hamel & DeBeukelaer et al., 2013).

Figur 3: Boxplots der Detektions- und Reaktionszeiten und mittlere Geschwindigkeit (grau = Kontrollgruppe, blau=HP, rot=LP): A Verteilung der Anzahl nicht detektierter Objekte, B Verteilung der mittleren Geschwindigkeit, C Verteilung der mittleren manuellen Reaktionszeit in das blinde/rechte Hemifeld, C Verteilung der mittleren manuellen Reaktionszeit in das sehende/linke Gesichtsfeld. Punkte kennzeichnen Ausreißer. Striche markieren die statistisch signifikanten, durchgeführten Gruppenvergleiche, ein Stern kennzeichnet $p < 0.05$, zwei Sterne $p < 0.005$ (aus Bahnemann et al. 2015).

Figur 4: Boxplots der Augenbewegungsparameter (grau=Kontrollgruppe, blau=HP, rot=LP): 4.1 Verteilung der mittleren Blickamplitude, 4.2 Verteilung der mittleren Peak Velocity, 4.3 Verteilung der Anzahl an durchgeführten Sakkaden im blinden Hemifeld, 4.4 Verteilung der Varianz an Fixationen auf der X-Achse. Punkte kennzeichnen Ausreißer. Die Klammern zeigen die statistisch signifikant durchgeführten Gruppenvergleiche auf, zwei Sterne kennzeichnen $p < 0.005$, ein Stern kennzeichnet $p < 0.05$ (aus DGKN, Postervortrag: De Beukelaer et al, 2014).

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Sophie, De Beukelaer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Visuelles Explorationsverhalten von Normalprobanden und Patienten mit homnymer Hemianopsie. Analyse mittels Fahrsimulator“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Anteilerklärung

Sophie De Beukelaer hatte folgenden Anteil an den Publikationen:

Publikation 1: Hamel, J., Kraft, A., Ohl, S., De Beukelaer, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. a (2012). Driving simulation in the clinic: testing visual exploratory behavior in daily life activities in patients with visual field defects. *J. Vis. Exp.*, e4427. doi:10.3791/4427.

Beitrag im Einzelnen: Datenerhebung, statistische Datenauswertung.

Publikation 2: Hamel, J., De Beukelaer, S., Kraft, A., Ohl, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. A. (2013). Age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting. *Front. Psychol.* 4, 339. doi:10.3389/fpsyg.2013.00339.

Beitrag im Einzelnen: Geteilte Erstautorschaft mit schriftlicher Verfassung der Publikation (insbesondere Einleitung, Methodik und Ergebnisteil), Programmierung der Auswertungsskripte, Datenerhebung, statistische Datenauswertung, graphische Aufarbeitung und Revision des Manuskripts.

Publikation 3: Bahnemann, M., Hamel, J., De Beukelaer, S., Ohl, S., Kehrer, S., Audebert, H., Kraft, A., and Brandt, S. A. (2015). Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation. *J. Neurol.* 262, 316–325. doi:10.1007/s00415-014-7554-x.

Beitrag im Einzelnen: Datenerhebung, Aufbereitung der Datensätze, Programmierung der Auswertungsskripte, statistische Datenauswertung und graphische Aufarbeitung.

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Publikationen

1

Hamel, J., Kraft, A., Ohi, S., De Beukelaer, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. a (2012). Driving simulation in the clinic: testing visual exploratory behavior in daily life activities in patients with visual field defects. *J. Vis. Exp.*, e4427. doi:10.3791/4427.

DOI- link: <http://dx.doi.org/10.3791/4427>



Age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting

Johanna Hamel^{1*}, Sophie De Beukelaer^{2†}, Antje Kraft², Sven Ohl³, Heinrich J. Audebert^{4,5} and Stephan A. Brandt²

¹ Department of Neurology, University of Rochester Medical Center, University of Rochester, Rochester, NY, USA

² Department of Neurology, Charité Campus Mitte, Universitätsmedizin Charité, Berlin, Germany

³ Berlin School of Mind and Brain, Humboldt Universität zu Berlin, Berlin, Germany

⁴ Department of Neurology, Charité Campus Benjamin Franklin, Universitätsmedizin Charité, Berlin, Germany

⁵ Center for Stroke Research Berlin, Universitätsmedizin Charité, Berlin, Germany

Edited by:

Mark W. Greeble, University of Regensburg, Germany

Reviewed by:

George L. Malcolm, The George Washington University, USA
Steven Paul Blurton, University of Regensburg, Germany

*Correspondence:

Johanna Hamel, 21 Lilac Drive, 14620 Rochester, NY, USA
e-mail: johanna_hamel@urmc.rochester.edu

† Johanna Hamel and Sophie De Beukelaer have contributed equally to this work.

Diverse cognitive functions decline with increasing age, including the ability to process central and peripheral visual information in a laboratory testing situation (useful visual field of view). To investigate whether and how this influences activities of daily life, we studied age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting: a driving simulator paradigm of variable complexity was tested in subjects of varying ages with simultaneous eye- and head-movement recordings via a head-mounted camera. Detection and reaction times were also measured by visual fixation and manual reaction. We considered video computer game experience as a possible influence on performance. Data of 73 participants of varying ages were analyzed, driving two different courses. We analyzed the influence of route difficulty level, age, and eccentricity of test stimuli on oculomotor and driving behavior parameters. No significant age effects were found regarding saccadic parameters. In the older subjects head-movements increasingly contributed to gaze amplitude. More demanding courses and more peripheral stimuli locations induced longer reaction times in all age groups. Deterioration of the functionally useful visual field of view with increasing age was not suggested in our study group. However, video game-experienced subjects revealed larger saccade amplitudes and a broader distribution of fixations on the screen. They reacted faster to peripheral objects suggesting the notion of a general detection task rather than perceiving driving as a central task. As the video game-experienced population consisted of younger subjects, our study indicates that effects due to video game experience can easily be misinterpreted as age effects if not accounted for. We therefore view it as essential to consider video game experience in all testing methods using virtual media.

Keywords: oculomotor behavior, eye movements, visual attention, driving simulator, aging, video game experience

INTRODUCTION

It is widely accepted that as we age, cognitive function becomes increasingly impaired as part of the normal aging process (Park et al., 2003; Hedden and Gabrieli, 2004; Morrison and Baxter, 2012). Recent research efforts have focused their interest on the changes in higher cognitive functions such as memory systems (Podell et al., 2012) or on age-related changes in sensory functions, which represent an earlier step in cognitive processing (Cliff et al., 2012; Mozolic et al., 2012). In the visual domain, recent studies have addressed the hypothesis that visual perception deteriorates with increasing age: to test this, Owsley et al. (1998) developed a model of the “Useful Field of View” (UFOV), referring to the spatial area from which a person is able to simultaneously process central and peripheral visual information. The UFOV is measured by cognitive tests that are sensitive to declines in visual sensory function, slowed visual processing speed, and impaired visual attention skills.

It is of great interest how these laboratory test results correlate with relevant changes in daily life activities. While driving a vehicle for example the information processed is mainly visual (Robinson et al., 1972). Studies have ascribed a greater risk of causing road traffic accidents (Tefft, 2008) to older driving populations.

How does visual processing while driving change with age and how does this alter driving behavior? To address this question we set up a study to investigate age-related changes in visual exploratory behavior in a natural setting: we used a driving simulator with subjects driving routes of varying complexity while simultaneously wearing a head-mounted camera recording eye- and head-movements, as well as measuring reaction times (screenshot of driving course, Hamel et al., 2012).

It has been previously shown that UFOV parameters have a high sensitivity (89%) and specificity (81%) in predicting which older drivers have a history of car crashes (Ball et al., 1993). A

prospective study demonstrated that older drivers with a 40% or greater impairment in the UFOV were more than two times more likely to cause a crash during a 3-year follow-up period (Owsley et al., 1998).

Two different theories were developed of how the peripheral field deteriorates in a realistic setting, e.g., a driving situation, while central demand increases: either through an abrupt neglect of stimuli, referred to as general interference (Holmes et al., 1977; Crundall et al., 1999) or through gradual decline of attention with increasing eccentricity, referred to as tunnel vision (Williams, 1988; Miura, 1990). Recent studies demonstrated a combination of both in older drivers: while presenting stimuli not related to the driving task, tunnel vision was observed, whereas if stimuli were relevant to driving (e.g., because they were located on other vehicles), a general interference occurred (Rogé et al., 2004). In our study we used targets located at different eccentricities, but all relevant to the driving task.

Besides peripheral visual perception, gaze behavior also contributes to the acquisition of visual information in natural activities such as driving. To this end, an important approach was introduced by Mourant and Rockwell (1972). They demonstrated that fixations and saccadic eye movements provide important insights into the drivers' visual search behavior, information needs, and information-acquisition processes (Shinar, 2008). They showed that search and scan patterns of novice drivers differed from those of experienced drivers as they covered a smaller visual field, which was interpreted as unskilled and inadequate for the detection of potential hazards. However, not only eye movements give an insight into exploratory behavior, head-movements have become the focus of research interest in naturalistic tasks, and the role of age-dependent changes in head-movement-behavior remains unclear. Our study allows for and examines unrestrained movements of the head, as there is evidence supporting an increased number of head-movements among the elderly as a compensatory strategy in visual tasks (Proudlock et al., 2004). Also, in head-unrestrained conditions, eye movement characteristics change, depending on gaze amplitudes (Freedman, 2008).

A high variability in visual search behavior has been demonstrated among the elderly (Maltz and Shinar, 1999). During episodes in which the older participants had difficulty searching, their eye movements were characterized by shorter saccades and increased numbers of fixations. Other studies (Pradhan et al., 2005; Bao and Boyle, 2009) showed that older drivers scanned significantly less toward both sides when passing intersections compared to middle-aged and younger drivers and searched less often for possible hazards than younger drivers (Romoser and Fisher, 2009). This was interpreted as indicating visual inattention, e.g., in the form of (a) a poor visual search process with ineffective use of the peripheral field, or (b) a failure to extract maximum amounts of information from areas that were already fixated on (Maltz and Shinar, 1999).

In order to characterize possible visual inattention, one goal of the study is to describe visual information-acquisition skills in more detail: we differentiated between manual reaction times, which could be delayed by motor impairment, and the latency until an object or hazard is fixated by the driver and possibly seen. Manual (Crundall et al., 2002; Rogé et al., 2004; Jahn et al., 2005) or verbal (Cantin et al., 2009) reaction times have been

chosen by previous studies as a response. If there was a difference between the two, it would not only be of diagnostic interest, but also training could be specified to improve manual reaction time either by raising more attention, or by training the pure motor responses. Observation of gaze fixations of risk relevant elements rather than manual reaction times was used to examine risk recognition in novice, young experienced, and older drivers (Pradhan et al., 2005). Overall, 25.82% of the younger, novice drivers, 40.14% of the younger, experienced drivers, and surprisingly 69.59% of the older drivers demonstrated visual exploratory behavior which indicated that they recognized the risks in a scenario. Nevertheless, the fatality rate of the older drivers was not smaller than that of the younger drivers, although the older drivers showed more awareness of the risks. The authors argued that the increasing risk awareness compensates for changes in the cognitive, perceptual, and motor status.

Interestingly, in a training session including a feedback mechanism displaying the participants point of gaze, older drivers could be successfully taught to perform more second looks for potential hazards (Pollatsek et al., 2012). Pollatsek argues that these findings may be explained by the following: older drivers develop an "unsafe habit," which can be reversed by training, rather than deteriorating physical or mental capabilities. Thus, training may be effective in reducing crashes. The unsafe habit could consist of the goal not to hit anything that is in front of their vehicle, similar to a central driving task. In this study, examining the gaze distribution and reaction times via fixation will investigate whether elderly drivers tend toward a central fixation bias.

Comparability of studies with each other and with actual driving situations is limited: Pollatsek offered stable pictures of traffic situations, which were explored and did not include a dynamic testing situation. In some studies head-movements were not measured (Pradhan et al., 2005) and eye movements were recorded via video recording instead using an eyetracker (Bao and Boyle, 2009). Another factor, which we accounted for in our study, is the experience of participants with video or computer games, which presents a potential confounder and major effect on study results. In previous studies testing spatial memory in a virtual driving task with pointing and navigating, virtual media experience was associated with greater pointing accuracy and greater navigational efficiency (Han et al., 2012). The authors argued that one reason for this pattern of results could be that the advantage conferred by video game experience in the task is due to better spatial encoding and recall of routes. It has been shown that video game-experienced subjects more successfully suppress distracting information and reveal enhanced attention to objects (Bavelier et al., 2011). They also reveal better performance in allocating spatial attention over the visual field at all eccentricities (Green and Bavelier, 2003). Action video game players tend to employ efficient executive strategies to reduce distraction during tasks (Chisholm and Kingstone, 2012). Video game interventions have offered some promise to help with cognitive decline in the elderly population. However, its mechanism and successful use remains unclear (Boot et al., 2013).

MATERIALS AND METHODS

PARTICIPANTS

Eighty-five participants were recruited (by newspaper advertisement, a local senior computer club, and among hospital employees)

of varying age (20–75 years of age, equally distributed). The study was conducted in conformity with the declaration of Helsinki and was approved by the local ethics committee. Written informed consent was obtained from all participants. All subjects were paid for their participation and were unaware of the purpose of the experiments. In the first session a medical history was taken and experiences with virtual media explored. All participants reported no cognitive deficits, neurological or psychiatric deficits or diseases, and visual acuity was higher than 0.5. Seven participants did not own a driver's license. One subject did not attend the second test day, 11 participants had to be excluded from analysis [due to strabismus (2), ptosis, multiple blinks, or difficulty in calibration (3), malposition of the head (2), or nausea (4)]. The remaining 73 participants fully completed all testing sessions and were included in the analysis.

EXPERIMENTAL SETUP

Participants were tested in a fixed base driving simulator (Hamel et al., 2012). The simulator consisted of a simulation car seat imitating a real car seat (including brake and accelerator pedals, steering wheel, and indicators). A special software (SILAB 3.0 by Wuerzburg Institute for Traffic Sciences GmbH (WIVW)) was used to program specific driving scenarios meeting the requirements of the study by providing courses with different amount of workload and recording the driver's performance.

The software was combined with a head-mounted binocular infrared video pupil tracker, recording head- and eye-movements at a sample rate of 100 Hz (EyeSeeCam by University of Munich Hospital, Clinical Neurosciences). The eye data were calibrated using a series of five fixation points.

A projector (Canon SX 80 Mark II, resolution: 1400 × 1050 pixels) displayed the visual information on a screen (1.52 m high × 2.03 m wide) located 2.0 m from the participant's head. The center of the screen was located at eye level through the midline of the subject, thus covering 58.15° of the visual angle on the horizontal axis and 43.61° on the vertical axis of the field of view.

DRIVING TASK

At the first session, instructions were given regarding the driving task and how to use the simulation vehicle. A practice run with less task density was conducted to allow familiarization to the simulation situation, the task and to prevent simulator sickness, a syndrome similar to motion sickness potentially confounding data and increasing the drop-out rate (Brooks et al., 2010). Prior to the start participants were informed that the simulator could cause experiencing nausea. They were specifically instructed to inform the experimenter if this happened and were told the experiment would stop immediately with no consequences. A rest of at least 1 day was assured between the practice and the experimental run. About 30% of the participants, when specifically asked after the completion of the experiment, reported retrospectively feeling slight malaise during the testing session.

The participants accomplished two experimental runs. Each consisted of a continuous scenario of 6500 m of rural roads (approximately 10 min duration) and different task difficulty due to level of distraction by surrounding environment (easy vs. difficult). Both drives were equal in setup and located in a rural scene.

The easy course had lower stimulus density (referred to as “field”), with flat farmed fields allowing for clear visibility of all hazards. The difficult course was located in a wooded area with houses, trees, and bushes as distractions (referred to as “ancient”).

The participants were instructed to drive and behave as they would in a real, non-simulated, driving situation. They were asked to be vigilant to street signs and break-down cars emerging on both sides of the road. In addition, they were instructed to react as soon as possible to these stimuli, as well as to potentially hazardous events such as wild boars or colored balls approaching the road, by either pressing the brake or using the indicator or both, as seemed appropriate to them in the respective driving situation. [A total of eight hazardous events occurred during each course, four (two wild boars and two colored balls) from both sides of the road at two different eccentricities.] This task was also practiced in the training session prior to the testing day. Speed was maintained by a cruise control. While depressing the pedal, the car sped up to a constant speed of 70 km/h unless the brake was used. This was implemented to assure comparability of reaction times between age groups, as it is known that older drivers reduce speed as a possible compensatory mechanism (Cantin et al., 2009).

After the examination participants were asked questions regarding their driving history and how they perceived the test and their performance. They were also asked about their experience with video computer games. We included a questionnaire to take into account video game experience as a possible effect on performance. As our group consisted of different ages engaged in different levels of video game experience, we categorized the participants in three groups according to their history. **Table 1** shows the grouping criteria for the video game experience. We differentiated virtual media history in PC or video games with animation, such as action games that require quick strategic assessment of situations, and one-dimensional strategic games, such as Tetris or card games. **Table 1** displays the division into groups by the time spent on game playing.

TEST PARAMETERS

SILAB Software recorded speed and reaction times (use of turn signal or brake). The MATLAB software (MathWorks Company, Natick, MA, USA) was used to analyze the recorded experimental

Table 1 | Grouping criteria for video game experience.

Groups	Experience with video games	Number of participants	Mean age
Group 1	Minimum experience (games without animation/motion perception, such as card games)	39	56.33
Group 2	Medium experience (one to two different kind of video games such as car-racing or flight simulation)	22	36.18
Group 3	Extensive experience (≥2 different kind of video games (see Group 2) regularly played)	12	27.5

data. Saccades were defined as sections of the gaze trajectory where gaze velocity exceeded $30^\circ/\text{s}$ and gaze amplitude was larger than 1° . Sections between saccades were defined as fixations. Head-movements were defined as movements exceeding $6^\circ/\text{s}$ and an amplitude of more than 3° (Einhäuser et al., 2007). Object fixations were defined as fixation on an object with gaze position maximally 1.24° apart from the object on the X-axis and 1.66° on the Y-axis. In addition to these measures, the average length of the participant's fixations (mean fixation durations) and the spread of search in the horizontal and vertical meridians (the variance of the fixation locations) were also calculated. The average number of successfully detected targets per participant was recorded.

Simultaneous head- and eye-movements with trajectory in the opposite direction were excluded, as they represent no gain in amplitude of gaze movement. They were subsumed as vestibulo-ocular reflexes (VOR) and excluded from head-movements.

Reaction time was measured in two ways: as a first mode (first detection) we measured reaction time as first detection by either fixation or manual detection: if the participant fixated the object first and responded manually afterward (represented the majority of cases), then we chose the fixation time as reaction time as first detection. If the subject used the turn signal or brake pedal first as an indicator fixating the object afterward, then manual reaction time represented reaction time as first detection. As a second mode (manual reaction), we measured reaction time by manual reaction (brake or turn signal) only.

ANALYSIS

For statistical analysis linear mixed models (LMM) were used to measure the fixed effects of age, eccentricity of target objects (close vs. distant), course difficulty (easy vs. difficult), and two dummy variables of our three video game experience groups (extensive video game experience and moderate video game experience) and their interactions on reaction times, parameters of saccades (mean fixation duration, mean gaze amplitude, number of saccades, distribution of fixations on the screen) and head-movements with subject as random factor. Effects with a t -value larger than ± 2 were considered as significant (Kliegl et al., 2010; Ohl et al., 2011). Functions for LMMs were provided by the lme4 package (Bates and Maechler, 2010) in the R environment (R Development Core Team, 2010). Eccentricity of objects was coded as 0 for "close," 1 for "far" (appearing at 10 m or at 30 m distance to the road). The different types of courses were coded as 0 for the course with a lower level, "field," and 1 for the higher level of complexity, "ancient." The baseline group for the dummy variables was minimum video game experience and coded 0 for the variables extensive and moderate video game experience. The dummy variable "moderate video game experience" was coded as 1 for "yes" and 0 for "no," extensive video game experience and the baseline group. The dummy variable extensive video game experience was coded 1 for "yes," and 0 for "no" moderate video game experience and the baseline group. Gender was coded 0 for male, 1 for female. Incidence of malaise was coded as 0 for "no" and 1 for "yes." Age was uniformly distributed in range from 20 to 75 years and centered around the mean (mean = 0.000548, SEM = 0.964175), here referred to as age_c, for use as a covariate in the regression model. Logistic regression was

used to calculate the effects of age, eccentricity of target stimuli, course type, and computer game experience on the incidence of simulator sickness. Correlation analyses were obtained by polycor package (Fox, 2007) between age and video game experience. Graphics were obtained by the ggplot2 package (Wickham, 2009) in the R environment (R Development Core Team, 2010).

RESULTS

DESCRIPTIVE STATISTICS

Head-restrained saccades have been characterized by a set of stereotyped relationships, referred to as "the main sequence" (Bahill et al., 1975): the duration and peak velocity of a saccade both increase with increasing magnitude of a saccade. These characteristics have been shown to alter with head-unrestrained movements with larger amplitudes above 20° (Freedman, 2008). Figures 1–3 show saccade characteristics in our study. Some subjects performed saccades where the arc length exceeded the cord length by 15° . When examining these saccades in isolation and tracking their course, they represent curved saccades and hence are marked as such in Figure 2 as they are lying out with the main sequence (see Figure 2). Overall these curved saccades presented 2.9% of all saccades. Curved saccades have been described in fixation eye movements (Guerrasio et al., 2010). In addition, these outliers occurred when subjects left the screen with their gaze and eye tracking signal was lost, e.g., to look at the equipment such as the foot pedals. These "off screen saccades" are marked separately in Figure 2. We did exclude vertical saccades with high speed peak velocity $> 1000^\circ/\text{s}$ as those likely represent blinks. We did not exclude curved vertical saccades with slower peak velocity directed toward the equipment or along the road as some were directly preceding object fixations, which then would have been missed.

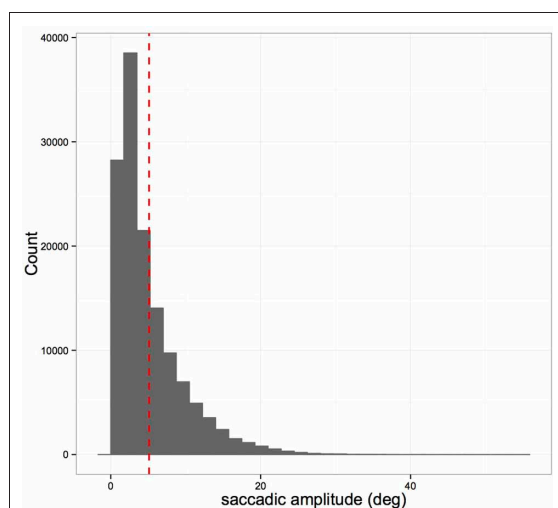
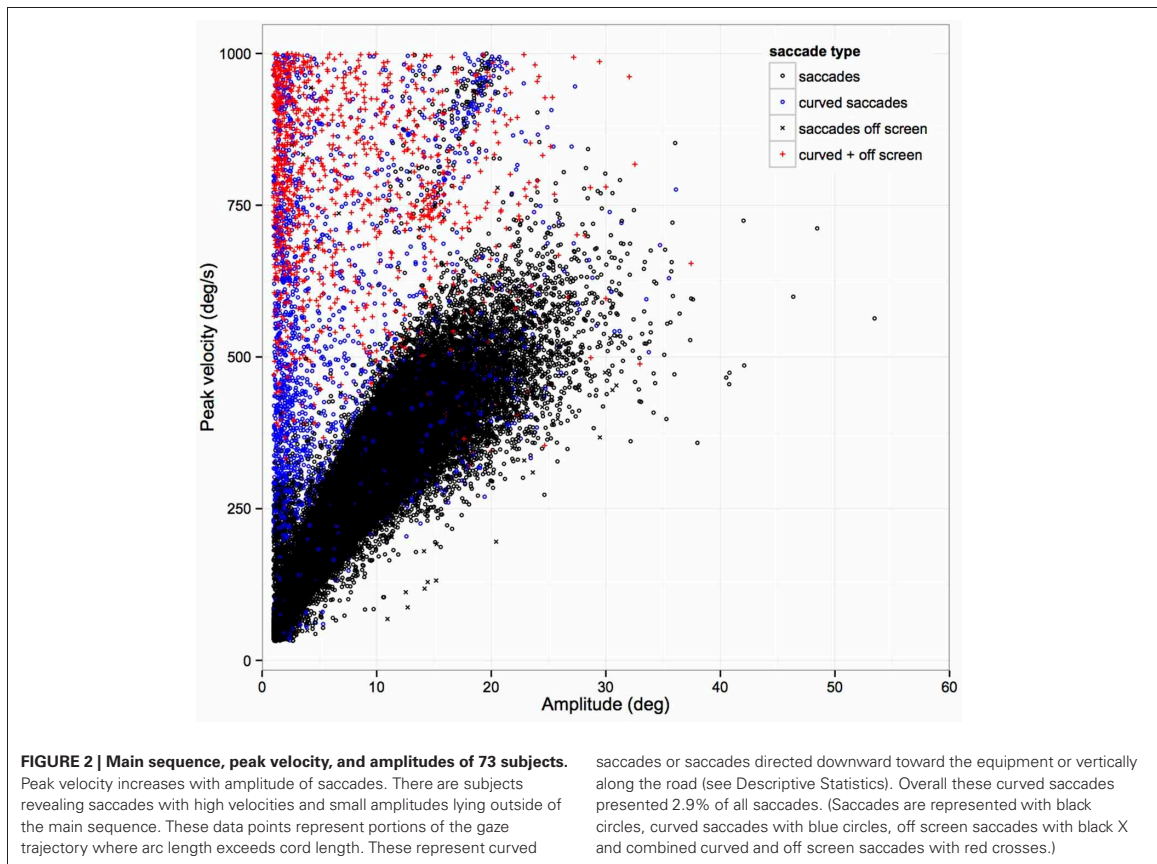


FIGURE 1 | Distribution of saccade amplitudes (in degree) of 73 subjects. The majority of saccade amplitudes ranged between 1 and 10° , and below 20° .



Video game experience

To improve our knowledge about the constitution of the different video game level groups, we designed a binomial logistic regression model with video game experience as the dependent variable and age, gender, years of active driving as predictors. The model showed that video game experience was more likely in young and male participants. **Table 2** displays the logistic regression model with the video game experience as the dependent variable.

With increased age, video game experience reduced significantly, representing a major influence on the data, which needed to be controlled for (see **Figure 4**).

Furthermore we found a strong negative correlation ($r = -0.76$) between age and the different groups of video game experience, showing that participants with extensive video game experience were younger than people with less or no experience in video gaming.

REACTION TIMES

All objects were detected and none were missed by any participant. In order to disentangle a collinearity effect between the two main variables of interest, age and levels of video game

experience, we calculated two different models for reaction time. In both models, the first with age as main predictor and the second with levels of video game experience as main predictor, regression estimates were not much changed. Therefore we chose to integrate both variables as fixed effects in the same model. We included median manual reaction time as the dependent variable and age, the dummy variables of videogame experience, type of course, target eccentricity as fixed effects as well as their two-way interactions. Subject was treated as random effect. **Table 3** displays the LMM statistics for median manual reaction time.

There was a significant main effect of eccentricity on manual reaction time showing that increasing eccentricity of objects is associated with an increase in manual reaction time. Type of course, age, and different levels of video game experience did not show significant main effects, but the interaction of type of course and eccentricity of objects significantly predicted an increase in manual reaction times (see **Figure 5**). We observed that the interaction of eccentricity of object and extensive video game experience predicted marginal significantly a decrease in manual reaction time. Therefore, manual reaction time to more peripherally located objects decreases with increased video game experience.

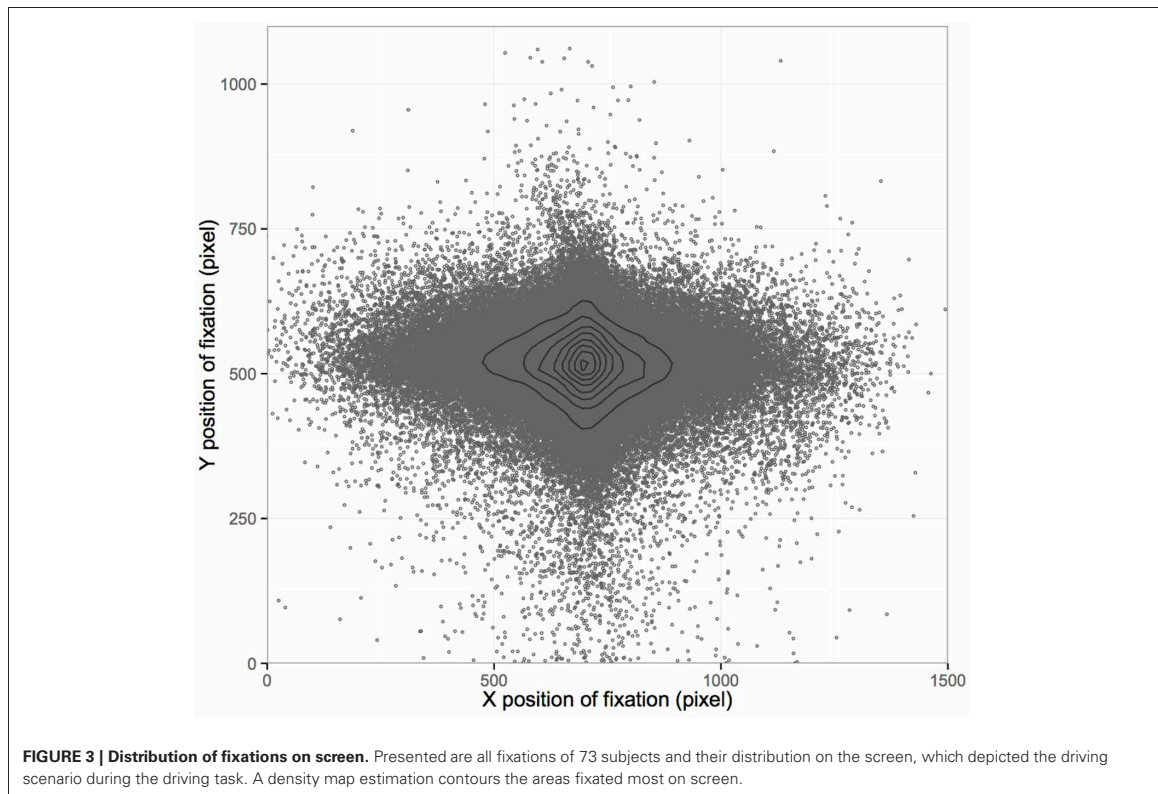


Table 2 | Logistic regression model for video game experience (significant effects in bold).

	Estimate	SE	z-Value	Pr(> z)
Intercept	-2.38666	1.75282	-1.362	0.17332
Gender	-2.74008	1.00837	-2.717	0.00658
Age (centered)	-0.18879	0.08548	-2.209	0.02719
Driving experience	0.01266	0.02297	0.551	0.58153

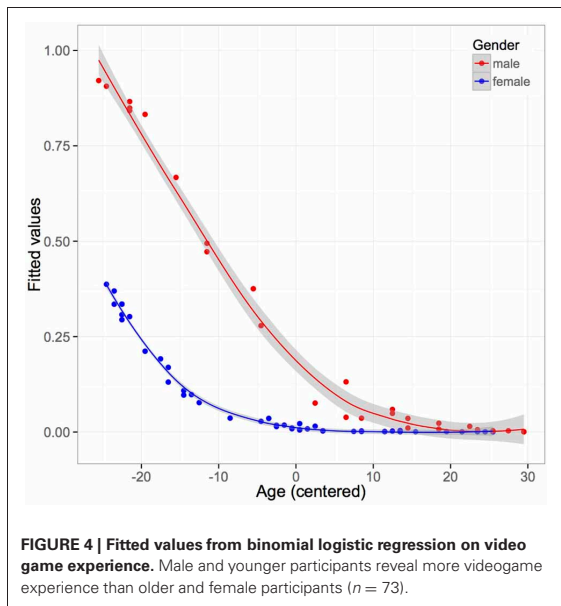
In a second step, we examined the reaction time as the first fixation or detection time of objects, and included the same fixed and random effects. **Table 4** presents the LMM statistics for the first detection or fixation of objects with both main predictors of interest.

And again, increasing eccentricity of objects as well as the interaction of course type and stimulus eccentricity significantly predicted an increase in reaction time. However, neither age nor level of video game experience did affect the first fixation of objects. Thus, our model revealed significant effects on reaction times: the further an object is located in the periphery, the longer the manual reaction time and reaction time by first detection; this effect is amplified by increased difficulty of test course. We found no significant effect of aging alone on reaction times. However, high level of video game experience seems to minimize this effect on

manual reaction time, while reaction time by first detection is not influenced by levels of video game experience. We cannot provide a distinct prediction of age or video game experience on reaction times respectively due to their collinearity. Hence, in this study we consider both when examining the participant's performance.

EXPLORATORY BEHAVIOR

We included mean fixation duration, mean gaze amplitude, number of saccades, distribution of fixations on the screen and number of head movements as dependent variables in models. Although a strong correlation between age and videogame experience was found, we included the level of videogame experience as predictors in models, as practice of video games might influence the exploratory behavior in participants. Nevertheless, observed effects of video game experience and age alone as well as their interaction effect have to be interpreted carefully (see **Figure 4**). The video game experience variable was not uniformly distributed across age, because no elder participant had extensive videogame experience in our wide study population ($n = 73$). Therefore we have to consider an extrapolation and overfitting effect of our regression models. Fixed effects were age, type of course, eccentricity of targets, and levels of video game experience, as well as their two-way interactions. Subject was treated as a random effect. There were no significant effects of age alone regarding saccade parameters. However, there was a marginal effect of extensive



video game experience on the mean of variance of horizontal fixations on the X-axis of the screen, displaying that participants with extensive video game experience covered a wider visual field during the task (see **Figure 6**). **Table 5** displays the LMM statistics for mean variance of horizontal eye movements (on the X-axis).

Likewise, the interaction of age and extensive video game experience significantly predicted an increase in the variance of fixations. Thus, the more the drivers have experience in video games and the younger they are, the broader is the field of view they covered with fixations (see **Figure 5**). In addition, increased video game experience had a significant main effect on mean saccadic amplitude. **Table 6** displays the LMM statistics for mean saccadic amplitude.

Participants with extensive video game experience performed larger mean saccadic amplitudes while driving.

Furthermore, we found a significant main effect of increased age on the number of head movements, demonstrating that with growing age the number of head movements during the task increases. **Table 7** displays the LMM statistics for the number of head movements performed.

Also, the interaction of moderate video game experience and age significantly predicted a decrease in head movements. Thus, older participants performed more head movements during the driving task, although if they had moderate video game experience, their frequency of head movements was less (see **Figure 7**).

SIMULATOR SICKNESS

In logistic regression analysis we included the incidence of malaise (such as headache, sweating, drowsiness, vertigo as symptoms of simulator sickness) as a dependent variable and age, course type, gender, number of saccades, and video game experience, as well as its two-way interactions, as predictors. We detected a marginally

Table 3 | Linear mixed model for median manual reaction time (significant effects with t-value ± 2 in bold).

	Estimate	SE	t-Value
Intercept	1168.8442	106.0349	11.023
Age	2.1077	5.9926	0.352
Eccentricity	1300.1934	102.1377	12.730
Type of course	-96.3001	102.1377	-0.943
Age \times eccentricity	1.7190	4.6347	0.371
Age \times type of course	0.2802	4.6347	0.060
Eccentricity \times type of course	956.0274	105.0335	9.102
Moderate video game experience	-82.3265	170.3392	-0.483
Extensive video game experience	50.1128	402.1579	0.125
Eccentricity \times extensive video game experience	-509.1063	199.4952	-2.552
Type of course \times extensive video game experience	196.0442	199.4952	0.983
Eccentricity \times moderate video game experience	-269.9960	151.7790	-1.779
Type of course \times moderate video game experience	71.6985	151.7790	0.472
Age \times extensive video game experience	7.1096	20.0873	0.354
Age \times moderate video game experience	6.3935	8.4901	0.753
Variance components		S.D.	
Subject		311.22	
Residual		448.70	

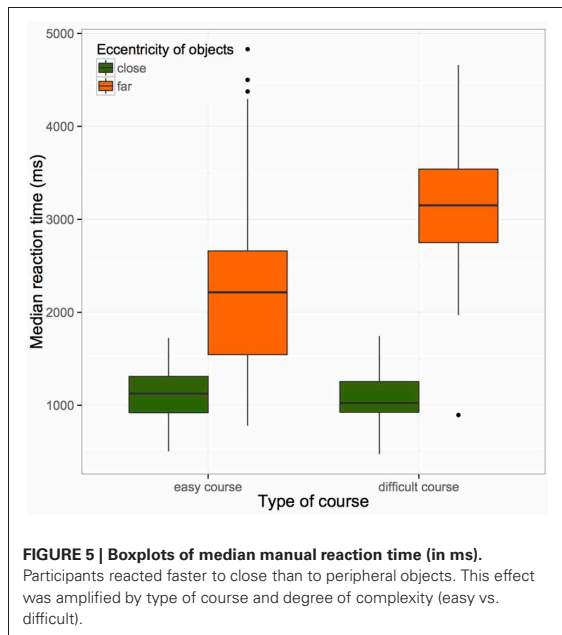
significant trend of an increased number of saccades on incidence of malaise [0.05 (Nagelkerkes), 0.032 (Cox and Snell), $\chi^2 = 9.75$, $p = 0.283$].

There were no significant effects of age, gender, type of course, and video game experience on the incidence of malaise.

DISCUSSION

We tested visual exploratory behavior in 73 participants of variable age and its effects on reaction times to hazardous objects relevant to driving safety. Our major interest focused on age-related effects on gaze behavior, information processing, and reaction times in the peripheral vs. central visual field with regard to deterioration of the peripheral visual field. We considered prior experience with video games as a possible influence on test results.

In summary, the results of the present study show that exploratory gaze behavior did not differ with increased age



in many saccadic parameters: there were no significant effects of age on mean fixation duration, mean gaze amplitude, and mean number of saccades. However, with increasing age, participants performed more head-movements contributing to the gaze amplitude. While the latter does not change with age, the result suggests a possible compensatory role of head-movements allowing a gaze amplitude large enough to cover the field of view. The role of head-movements as a potential overt attention mechanism in the older populations merits further exploration. It is also unclear whether this could be a mechanism compensating for cognitive decline as suggested by Proudlock et al. (2004). In this respect it is very interesting, that elderly subjects with some video game experience seem to rely less on this potentially compensatory mechanism as they perform less head-movements, raising the question of whether simulation training can improve performance. We demonstrated that subjects with extensive video game experience, i.e., regular animated video game playing, covered a larger field of view with a wide distribution of fixations on screen, as well as slightly larger mean saccadic amplitude and reacted faster manually to peripheral objects, although they did not detect objects faster via fixation. These main findings will be discussed with respect to the deterioration of the UFOV in aging and the role of visual virtual media experience in visual exploratory behavior. We are aware of the fact, that older participants revealed less virtual media knowledge than younger participants, which advocates a careful interpretation of video and age effects on visual exploratory behavior respectively.

The position of the object had a significant effect on reaction times (both manually and via fixation): drivers reacted comparably promptly to close objects without differences in age or video gaming experience. The more distant the objects were located

Table 4 | Linear mixed model for first detection or fixation of objects (significant effects with t -value ± 2 in bold).

	Estimate	SE	t -Value
Intercept	874.4402	117.1593	7.464
Age	8.5511	6.2387	1.371
Eccentricity	1243.5934	144.8606	8.585
Type of course	-1870321	144.8606	-1.291
Age \times eccentricity	-72829	6.5733	-1.108
Age \times type of course	-2.4075	6.5733	-0.366
Eccentricity \times type of course	852.9680	148.9677	5.726
Moderate video game experience	5.4606	187.6357	0.029
Extensive video game experience	230.5355	370.9499	0.621
Eccentricity \times extensive video game experience	-514.5448	282.9414	-1.819
Type of course \times extensive video game experience	-103.1475	282.9414	-0.365
Eccentricity \times moderate video game experience	-280.6056	215.2662	-1.304
Type of course \times moderate video game experience	51.5702	215.2662	0.240
Age \times extensive video game experience	5.3405	16.6612	0.321
Age \times moderate video game experience	0.4521	7.0420	0.064
Variance components		S.D.	
Subject		0.035566	
Residual		636.390273	

to the subject's gaze position, the longer were reaction times. In previous studies different courses with different visual layout complexity (higher "spatial density") showed an effect on driving performance (Rogé et al., 2004). Here we also report a significant interaction between object position and type of course. Participants reacted slower manually and fixated later on moving objects in the periphery in the more demanding driving course, including a higher spatial density of visual impressions including bushes, houses, and trees. To clarify whether reaction times to objects of diverse eccentricities change with age, implicating a deterioration of the functional field of view, we examined the reaction times to two different eccentricities with regards to age. Surprisingly, age did neither influence the manual reaction time nor the time it took the driver to fixate the peripheral object after its appearance on the screen. Nevertheless, video game-experienced participants, who were more common among the

Table 5 | Linear mixed model for mean variance of horizontal eye movements on the X-axis (significant effects with *t*-value ± 2 in bold).

	Estimate	SE	<i>t</i> -Value
Intercept	23600	2063	11.438
Age (centered)	-110.3	123.9	-0.890
Eccentricity	-3.734e-10	2705	0.000
Type of course	-2898	2705	-1.071
Extensive videogame experience	25280	9090	2.781
Moderate videogame experience	-256.6	3326	-0.077
Course \times eccentricity	8.256e-11	1030	0.000
Age \times course	23.37	45.45	0.514
Age \times eccentricity	5.251e-12	45.45	0.000
Age \times moderate videogame experience	57.14	202.5	0.282
Eccentricity \times moderate videogame experience	1.310e-10	1488	0.000
Course \times moderate videogame experience	756.9	1488	0.509
Course \times extensive videogame experience	-1219	1956	-0.623
Eccentricity \times extensive videogame experience	2.155e-10	1956	0.000
Age \times extensive videogame experience	1015	479.2	2.119
Variance components		SD	
Subject		8883.6	
Residual		4400.1	

younger subjects, reacted faster manually to the targets, suggesting either an increase of selective spatial attention or faster manual responses due to better motor abilities (Green and Bavelier, 2003). In previous studies, deterioration of UFOV was supported by experiments relying exclusively on manual reaction (Crundall et al., 2002; Rogé et al., 2004; Jahn et al., 2005). Therefore our results raise the question, whether deterioration of peripheral vision with increased age exists at all when visual attention is measured non-manually, not as a motor-response, by including the measurement of eye movements and when the influence of video game experience is accounted for. Our study cannot address the question of how the peripheral visual field potentially deteriorates gradually providing the classification as general interference or tunnel vision, as we did not provide detailed testing of objects at various eccentricities. Another objection could be directed at the central task, which may be arguably too simple and not highly demanding enough (Williams, 1988) to provide a genuine central task. We did not present a leading car as a

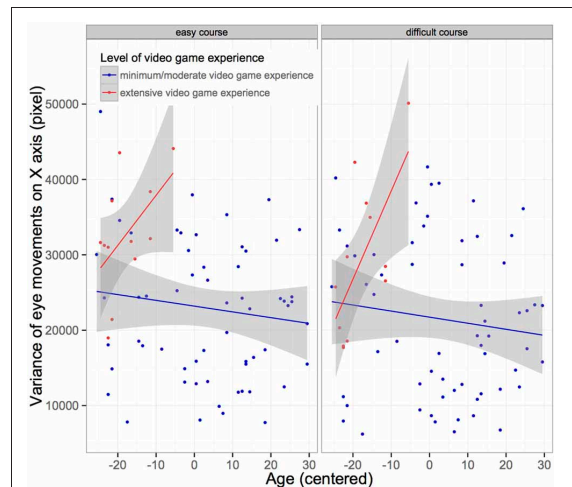


FIGURE 6 | Measure of mean variance of fixations on horizontal screen (in pixel) shown separately for both type of courses (easy vs. difficult). ($n = 73$) (see Materials and Methods). Subjects that had extensive video game experience, playing video action games regularly, showed a wider distribution of fixations on the X-axis of the screen. These subjects were of younger age. There were no elderly participants with extensive video game experience.

central task in our experiment since following a car does not resemble a common driving task in daily life. However we specified a certain speed to provide an equal amount of speed stress on all participants. Therefore we aimed at providing a more naturalistic driving environment which people in rural areas are exposed to.

Furthermore, the results can be interpreted by applying the hypothesis of Pollatsek et al. (2012): if drivers tend to adopt a “habit” perceiving and hence performing driving as a central task, then they react slower manually to peripheral objects because they do not judge them to be acutely relevant. Consequently, they see the objects but do not react immediately due to this habit. Increased video game experience generally seems to resolve this notion of a central task. Our data suggests that it is rather associated with a notion of a general detection task, reacting to all objects as soon as possible. This is of great interest considering a study, which described a general central bias in fixation behavior in subjects viewing a monitor (Tatler, 2007): this central bias was found to become weaker with an active search task, with which fixation distributions were shifted toward the distribution of image features rather than being focused on the center of the screen. Therefore it appears that video gaming experience in our subjects might have altered the understanding of the task, from a driving task to a search task, resulting in different oculomotor behavior with broader visual field and less central bias. Given the fact that the majority of our high level video game players were young drivers, the suspected acquired action video game skills had an effect on the overall performance of the young subjects. This is potentially masking an age effect itself, as in our study these two

Table 6 | Linear mixed model for mean saccadic amplitude (in bold significant effects with t -value ± 2).

	Estimate	SE	t-Value
Intercept	4.918	0.2266	21.700
Age (centered)	-0.002116	0.01364	-0.155
Eccentricity	1.892e-13	0.2.822	0.000
Type of course	-0.2650	0.2822	-0.939
Extensive videogame experience	1.874	1.003	1.869
Moderate videogame experience	-0.001840	0.3654	-0.005
Course \times eccentricity	9.735e-15	0.1075	0.000
Age \times course	0.004080	0.004742	0.860
Age \times eccentricity	-3.510e-15	0.004742	0.000
Age \times moderate videogame experience	0.007429	0.02.237	0.332
Eccentricity \times moderate videogame experience	-7.090e-14	0.1553	0.000
Course \times moderate videogame experience	0.1134	0.1553	0.730
Course \times extensive videogame experience	0.04.884	0.2041	0.239
Eccentricity \times extensive videogame experience	-9.707e-14	0.2041	0.000
Age \times extensive videogame experience	0.04777	0.05293	0.903
Variance components		SD	
Subject		0.98439	
Residual		0.45913	

Table 7 | Linear mixed model for the number of head movements (in bold significant effects with t -value ± 2).

	Estimate	SE	t-Value
Intercept	5.644e+00	2.264e+00	2.493
Age (centered)	0.3459	0.1366	2.532
Eccentricity	1.916e-14	2.580	0.000
Type of course	-2.050	2.580	-0.794
Extensive videogame experience	12.18	10.08	1.208
Moderate videogame experience	-0.7415	3.651	-0.203
Course \times eccentricity	-2.620e-15	0.9826	0.000
Age \times course	0.06233	0.04336	1.438
Age \times eccentricity	-2.851e-16	0.04336	0.000
Age \times moderate videogame experience	-0.4682	0.2253	-2.079
Eccentricity \times moderate videogame experience	-8.491e-15	1.420	0.000
Course \times moderate videogame experience	-0.2510	1.420	-0.177
Course \times extensive videogame experience	4.336	1.866	2.323
Eccentricity \times extensive videogame experience	-3.405e-15	1.866	0.000
Age \times extensive videogame experience	0.3286	0.5330	0.616
Variance components		SD	
Subject		9.9611	
Residual		4.1976	

factors need to be interpreted as linked. In order to further clarify the interaction between age and video game experience, older participants with action video game experience need to be examined, expecting faster manual reaction times to peripheral objects in this group. It will also elucidate the question whether and in what way attentional mechanisms and executive functions differ between video game players and non-video game players.

A critical objection could be raised regarding the recording of reaction times in this study: looking at something does not necessarily imply consciously perceiving it. Hence, reaction times assessed via first fixation (or seldom manual reaction before fixation) may represent an artifact. The error of "seen but not perceived" could jeopardize our interpretation and cannot be ruled out here. Nevertheless, it seems unlikely in the majority of cases that participants could focus via saccades accurately on an object while being unaware of it, especially when a manual reaction follows the fixation.

SUMMARY AND FUTURE PERSPECTIVES

The more demanding the course and the more peripheral the location of the object, the longer were the reaction times, independent of participant age. Deterioration of the useful visual field of view with increased age was not verified in the present study: peripheral objects were detected manually or via fixation at the same speed in all age groups. Interestingly, video game-experienced subjects reacted faster manually to peripheral objects, indicating faster manual responses vs. increased spatial attention and less tendency of perceiving driving "as a central task." This raised the question, first addressed by Pollatsek et al. (2012), of whether active training, e.g., with driving simulation or video games could improve driving performance, e.g., in the elderly, but also in patients with visual field deficits (Hamel et al., 2012). This exercise could shift attention and encourage faster actual manual response, e.g., with relevance at traffic intersections. It also remains questionable, whether tasks practiced in action video games could

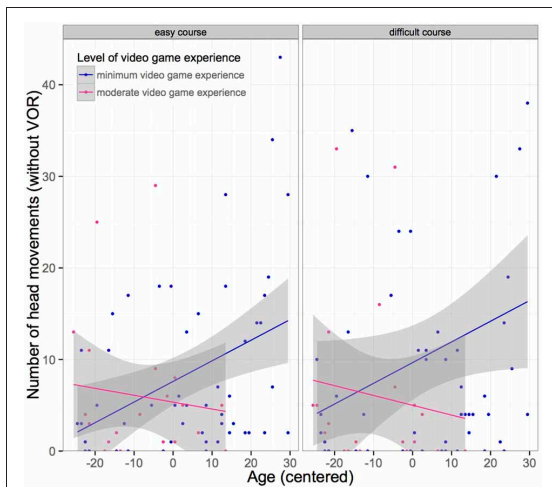


FIGURE 7 | Measure of the number of head movements without accounting for vestibulo-ocular reflexes (VOR) shown separately for both type of courses (easy vs. difficult). Older subjects performed significantly more head movements than younger subjects. However, elderly with moderate video game experience, performed less head movements ($n = 73$).

be transferred beyond the training task, allowing our subjects with extensive action game experience to better “learn to learn” (Green and Bavelier, 2012). One advantage of a driving simulator testing setting rather than other action gaming options [First person-shooters or Mario Kart DS® (Boot et al., 2013)]

REFERENCES

- Bahill, A. T., Clark, M. R., and Stark, L. (1975). The main sequence, a tool for studying human eye movements. *Math. Biosci.* 24, 191–204. doi:10.1016/0025-5564(75)90075-9
- Ball, K., Owsley, C., Sloane, M. E., Roenker, D. L., and Bruni, J. R. (1993). Visual attention problems as a predictor of vehicle crashes in older drivers. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 34, 3110–3123.
- Bao, S., and Boyle, L. N. (2009). Age-related differences in visual scanning at median-divided highway intersections in rural areas. *Accid. Anal. Prev.* 41, 146–152. doi:10.1016/j.aap.2008.10.007
- Bates, D., and Maechler, M. (2010). lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigen++, 2010. URL <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>. R package version 0.999 375-37.
- Bavelier, D., Green, C. S., Han, D. H., Renshaw, P. F., Merzenich, M. M., and Gentile, D. A. (2011). Brains on video games. *Nat. Rev. Neurosci.* 12, 763–768. doi:10.1038/nrn3135
- Boot, W. R., Champion, M., Blakely, D. P., Wright, T., Souders, D. J., and Charness, N. (2013). Video games as a means to reduce age-related cognitive decline: attitudes, compliance, and effectiveness. *Front. Psychol.* 4:31. doi:10.3389/fpsyg.2013.00031
- Brooks, J. O., Goodenough, R. R., Crisler, M. C., Klein, N. D., Alley, R. L., Koon, B. L., et al. (2010). Simulator sickness during driving simulation studies. *Accid. Anal. Prev.* 42, 788–796. doi:10.1016/j.aap.2009.04.013
- Cantin, V., Lavallière, M., Simoneau, M., and Teasdale, N. (2009). Mental workload when driving in a simulator: effects of age and driving complexity. *Accid. Anal. Prev.* 41, 763–771. doi:10.1016/j.aap.2009.03.019
- Chisholm, J. D., and Kingstone, A. (2012). Improved top-down control reduces oculomotor capture: the case of action video game players. *Atten. Percept. Psychophys.* 74, 257–262. doi:10.3758/s13414-011-0253-0
- Cliff, M., Joyce, D. W., Lamar, M., Dannhauser, T., Tracy, D. K., and Shergill, S. S. (2012). Aging effects on functional auditory and visual processing using fMRI with variable sensory loading. *Cortex* 4, 1–10. doi:10.1016/j.cortex.2012.04.003
- Crundall, D., Underwood, G., and Chapman, P. (1999). Driving experience and the functional field of view. *Perception* 28, 1075–1087. doi:10.1068/p2894
- Crundall, D., Underwood, G., and Chapman, P. (2002). Attending to the peripheral world while driving. *Appl. Cogn. Psychol.* 16, 459–475. doi:10.1002/acp.806
- Einhäuser, W., Schumann, F., Bardins, S., Bartl, K., Böning, G., Schneider, E., et al. (2007). Human eyehead co-ordination in natural exploration. *Network (Bristol, England)* 18, 267–297. doi:10.1080/09548980701671094
- Fox, J. (2007). *Polycor: Polychoric and Polyserial Correlations*. R Package Version 0.7-5. Available at: <http://CRAN.R-project.org/package=polycor>
- Freedman, E. G. (2008). Coordination of the eyes and head during visual orienting. *Exp. Brain Res.* 190, 369–387. doi:10.1007/s00221-008-1504-8
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2003). Action video game modifies visual selective attention. *Nature* 423, 534–537. doi:10.1038/nature01647
- Green, C. S., and Bavelier, D. (2012). Learning, attentional control, and action video games. *Curr. Biol.* 22, R197–R206. doi:10.1016/j.cub.2012.02.012
- Guerrasio, L., Quinet, J., Büttner, U., and Goffart, L. (2010). Fastigial oculomotor region and the control of foveation during fixation. *J. Neurophysiol.* 103, 1988–2001. doi:10.1152/jn.00771.2009
- Hamel, J., Kraft, A., Ohl, S., De Beuke-laer, S., Audebert, H. J., and Brandt, S. A. (2012). Driving

could be, that elderly will likely be more compliant, as driving presents autonomy and a daily useful activity. Whether positive effects could be transferred to real driving or even other cognitive functions, remains unclear.

In the older populations, head-movements increasingly contribute to gaze amplitude. As gaze amplitude does not change with increased age, head-movements seem to assure amplitude size in the elderly. Elderly subjects with some video game experience performed less head movements, again, raising the question of whether simulation training can improve performance.

Head-unrestrained testing in testing sessions with a larger visual field is necessary to uncover the role of head-movements as a compensatory mechanism in the elderly.

Here, we would like to emphasize that the effects of video game experience are more common among the younger subjects, and therefore if not accounted for, it can easily be misinterpreted as underlying age effect. We think it is essential to consider video game experience, specifically with respect to animation setup, in all testing methods using virtual media. Further testing sessions with participants with video game experience more equally distributed among all ages are needed. One hypothesis would be that older participants, experienced in video games, would demonstrate better performance in the driving simulation. The effect of video game experience on exploratory behavior with less central bias and faster reactions to peripheral objects raises the question of whether those subjects drive differently in a real life situation, and whether that would be associated with a lower crash risk in real life driving. This question needs to be addressed in real life driving studies.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Richard A. Dargie for correction of the English text.

- simulation in the clinic: testing visual exploratory behavior in daily life activities in patients with visual field defects. *J. Vis. Exp.* 67:e4427. doi:10.3791/4427
- Han, X., Byrne, P., Kahana, M., and Becker, S. (2012). When do objects become landmarks? A VR study of the effect of task relevance on spatial memory. *PLoS ONE* 7:e35940. doi:10.1371/journal.pone.0035940
- Hedden, T., and Gabrieli, J. D. E. (2004). Insights into the ageing mind: a view from cognitive neuroscience. *Nat. Rev. Neurosci.* 5, 87–96. doi:10.1038/nrn1323
- Holmes, D. L., Cohen, K. M., Haith, M. M., and Morrison, F. J. (1977). Peripheral visual processing. *Percept. Psychophys.* 22, 571–577. doi:10.3758/BF03198765
- Jahn, G., Oehme, A., Krems, J. F., and Gelau, C., (2005). Peripheral detection as a workload measure in driving: effects of traffic complexity and route guidance system use in a driving study. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.* 8, 255–275. doi:10.1016/j.trf.2005.04.009
- Kliegl, R., Masson, M., and Richter, E. (2010). A linear mixed model analysis of masked repetition priming. *Vis. Cogn.* 18, 655–681. doi:10.1080/13506280902986058
- Maltz, M., and Shinar, D. (1999). Eye movements of younger and older drivers. *Hum. Factors* 41, 15–25. doi:10.1518/001872099779577282
- Miura, T. (1990). “Active function of eye movement and useful field of view in a realistic setting,” in *From Eye to Mind: Information Acquisition in Perception, Search and Reading*, eds R. Groner, G. d’Ydewalle, and R. Parham (Amsterdam: Elsevier), 119–127.
- Morrison, J. H., and Baxter, M. G. (2012). The ageing cortical synapse: hallmarks and implications for cognitive decline. *Nat. Rev. Neurosci.* 13, 240–250. doi:10.1038/nrn3200
- Mourant, R. R., and Rockwell, T. H. (1972). Strategies of visual search by novice and experienced drivers. *Hum. Factors* 14, 325–335.
- Mozolic, J. L., Hugenschmidt, C. E., Peiffer, A. M., and Laurienti, P. J. (2012). “Multisensory integration and aging,” in *The Neural Bases of Multisensory Processes*, eds M. M. Murray and M. T. Wallace (Boca Raton, FL: CRC Press). Chapter 20.
- Ohl, S., Brandt, S. A., and Kliegl, R. (2011). Secondary (micro-) saccades: the influence of primary saccade end point and target eccentricity on the process of postsaccadic fixation. *Vision Res.* 51, 2340–2347. doi:10.1016/j.visres.2011.09.005
- Owsley, C., Ball, K., McGwin, G., Sloane, M. E., Roenker, D. L., White, M. F., et al. (1998). Visual processing impairment and risk of motor vehicle crash among older adults. *JAMA* 279, 1083–1088. doi:10.1001/jama.279.14.1083
- Park, H. L., O’Connell, J. E., and Thomson, R. G. (2003). A systematic review of cognitive decline in the general elderly population. *Int. J. Geriatr. Psychiatry* 18, 1121–1134. doi:10.1002/gps.1023
- Podell, J. E., Sambataro, F., Murty, V. P., Emery, M. R., Tong, Y., Das, S., et al. (2012). Neurophysiological correlates of age-related changes in working memory updating. *Neuroimage* 62, 2151–2160. doi:10.1016/j.neuroimage.2012.05.066
- Pollatsek, A., Romoser, M. R. E., and Fisher, D. L. (2012). Identifying and remedial failures of selective attention in older drivers. *Curr. Dir. Psychol. Sci.* 21, 3–7. doi:10.1177/0963721411429459
- Pradhan, A. K., Hammel, K. R., DeRamus, R., Pollatsek, A., Noyce, D. A., and Fisher, D. L. (2005). Using eye movements to evaluate effects of driver age on risk perception in a driving simulator. *Hum. Factors* 47, 840–852. doi:10.1518/001872005775570961
- Proudlock, F. A., Shekhar, H., and Gottlob, I. (2004). Age-related changes in head and eye coordination. *Neurobiol. Aging* 25, 1377–1385. doi:10.1016/j.neurobiolaging.2004.02.024
- R Development Core Team. (2010). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, (Vienna). ISBN:3-900051-07-0. <http://www.R-project.org> (software).
- Robinson, G. H., Erickson, D. J., Thurston, G. L., and Clark, R. L. (1972). Visual search by automobile drivers. *Hum. Fact.* 14, 315–323.
- Rogé, J., Pébayle, T., Lambilliotte, E., Spitzstetter, F., Giselbrecht, D., and Muzet, A. (2004). Influence of age, speed and duration of monotonous driving task in traffic on the driver’s useful visual field. *Vision Res.* 44, 2737–2744. doi:10.1016/j.visres.2004.05.026
- Romoser, M. R. E., and Fisher, D. L. (2009). The effect of active versus passive training strategies on improving older drivers’ scanning in intersections. *Hum. Factors* 51, 652–668. doi:10.1177/0018720809352654
- Shinar, D. (2008). Looks are (almost) everything: where drivers look to get information. *Hum. Factors* 50, 380–384. doi:10.1518/001872008X250647
- Tatler, B. (2007). The central fixation bias in scene viewing: selecting an optimal viewing position independently of motor biases and image feature distributions. *J. Vis.* 7, 1–17. doi:10.1167/7.14.4
- Tefft, B. C. (2008). Risks older drivers pose to themselves and to other road users. *J. Safety Res.* 39, 577–582. doi:10.1016/j.jsr.2008.10.002
- Wickham, H. (2009). *ggplot2. Elegant Graphics for Data Analysis*. Dordrecht: Springer.
- Williams, L. J. (1988). Tunnel vision or general interference? Cognitive load and attentional bias are both important. *Am. J. Psychol.* 101, 171–191. doi:10.2307/1422833

Conflict of Interest Statement: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Received: 30 December 2012; accepted: 24 May 2013; published online: 21 June 2013.

Citation: Hamel J, De Beukelaer S, Kraft A, Ohl S, Audebert HJ and Brandt SA (2013) Age-related changes in visual exploratory behavior in a natural scene setting. *Front. Psychol.* 4:339. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00339

This article was submitted to *Frontiers in Perception Science*, a specialty of *Frontiers in Psychology*.

Copyright © 2013 Hamel, De Beukelaer, Kraft, Ohl, Audebert and Brandt. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in other forums, provided the original authors and source are credited and subject to any copyright notices concerning any third-party graphics etc.

3

Bahnemann, M., Hamel, J., De Beukelaer, S., Ohl, S., Kehrer, S., Audebert, H., Kraft, A., and Brandt, S. A. (2015). Compensatory eye and head movements of patients with homonymous hemianopia in the naturalistic setting of a driving simulation. *J. Neurol.* 262, 316–325. doi:10.1007/s00415-014-7554-x.

DOI-link: <http://dx.doi.org/10.1007/s00415-014-7554-x>

Lebenslauf mitsamt Publikationsliste

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Danksagung

Ich möchte mich hier für die inhaltliche, praktische sowie vertrauensvolle, tatkräftige Unterstützung und Förderung meines Betreuers, Herrn Prof S.A. Brandt, und meiner Arbeitsgruppe, der Vision and Motor Group, bedanken.

Insbesondere möchte ich mich bei Frau Dr.habil Kraft und Frau Dr. Hamel, sowie Herrn Dr. Ohl, Frau Dr. Kehrer und Herrn Dr. Bahnemann bedanken, welche mich in der eigenständigen Arbeit fortwährend unterstützt, begleitet und die erforderlichen Kenntnisse und Fertigkeiten an die Hand gegeben haben.

Durch sie habe ich über die Jahre hinweg immer wieder erfahren dürfen, wie viel Freude wissenschaftliches Denken und Arbeiten gemeinsam in einem multiprofessionellen Team macht. Dabei waren neben der geteilten Begeisterung an den wissenschaftlichen Fragestellungen und dem Interesse an unterschiedlichen, differenzierten Blickwinkeln auf die Dinge, ein gewissenhafter und achtsamer Umgang miteinander, mit den Probanden und den angewandten Methoden und Messverfahren selbstverständlich. Ohne ihre Unterstützung hätte ich die Dissertation so nicht entwickeln und fertigstellen können.

Weiter möchte ich mich bei den Probanden bedanken, die sich bereit erklärt haben an unseren Studien teilzunehmen, sowie bei den Pilotprobanden, die durch ihre Teilnahme an der Definition und Weiterentwicklung der inhaltlichen Fragestellungen und des Versuchsaufbaus maßgeblich mitgewirkt haben.

Zuletzt möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, bedanken. Für ihr uneingeschränktes Vertrauen, ihren Witz, ihre stets geöffneten Ohren und ihre ehrlichen, ermutigenden Worte wie Taten.