

ЗРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

УДК 159.91 (612.821)

ОКУЛОМОТОРНАЯ АКТИВНОСТЬ ПРИ РЕШЕНИИ ЗРИТЕЛЬНЫХ КОГНИТИВНЫХ ЗАДАЧ В РАЗЛИЧНЫХ ВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

© 2021 г. А. И. Талеева^{1,*}, Н. В. Звягина¹

¹ ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова»
163002 г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17, Россия

*E-mail: a.taleeva@narfu.ru

Поступила в редакцию 12.01.2021 г.

После доработки 04.03.2021 г.

Принята к публикации 04.03.2021 г.

Окуломоторная активность является физиологическим маркером зрительной когнитивной деятельности. Параметры зрительно-моторных реакций отражают мозговые процессы восприятия, обработки, осмысления полученной информации. В современном обществе человеку приходится жить в условиях быстрых социально-экономических и технологических перемен, высоких информационных нагрузок, ускоренного ритма жизни и все чаще возникающего цейтнота. Деятельность в условиях острой нехватки времени или работа, выполняемая в рамках строго ограниченного времени, характеризуется использованием дополнительных физиологических резервов, нарушением психологического и психофизиологического баланса, изменениями в активности мозговой деятельности, что может привести к развитию стресс-реакции. У представителей с разным типом вегетативной регуляции функций реакции на стресс имеют специфические проявления, которые будут проследиваться в функционировании наиболее реактивных систем организма, влиять на мозговую активность и, соответственно, при реализации зрительной когнитивной деятельности отражаться на параметрах окуломоторной активности. Обследованы 70 студентов Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова. Изучали окуломоторные реакции студентов с разным вегетативным статусом при решении когнитивных задач в произвольном темпе и в условиях ограниченного времени. Выявлены наиболее чувствительные параметры окуломоторных реакций при чтении в условиях лимита времени: частота фиксаций, средняя продолжительность фиксаций, дисперсия фиксаций, амплитуда и скорость саккад. При этом показано, что у представителей с различными индивидуально-типологическими особенностями вегетативного статуса эти маркеры могут варьировать. У представителей с разным статусом вегетативной нервной системы в процессе когнитивной работы в разных временных условиях зафиксирована разная эффективность выполнения заданий. Наиболее эффективная и скоростная обработка зрительной информации в условиях временного лимита, сопровождаемая увеличением параметров частоты фиксаций и снижением длительности фиксаций, характерна для представителей с нормотоническим вегетативным статусом.

Ключевые слова: окуломоторная активность, саккады, фиксации, когнитивная деятельность, вегетативный статус, физиологическая адаптация

DOI: 10.31857/S0235009221030045

ВВЕДЕНИЕ

Современный мир характеризуется динамичным развитием, активным дополнением имеющейся и появлением новой информации из разных областей знаний, а значит, и необходимостью освоения большого объема информации за ограниченный промежуток времени. Деятельность в условиях цейтнота может повлиять на качество выполненной работы, сопровождаться развитием стресс-реакций, нарушением психофизиологического и психоэмоционального баланса человека (Канеман, 2006). Так, показано, что нехватка времени негативно влияет на адекватность выбора товаров в онлайн магазинах, бо-

лее того, временной лимит искажает восприятие качества и ценности покупки (Mou, Shin, 2018).

Существуют множество физиологических маркеров реакции организма на стресс-агенты, в том числе на лимитирующие временные факторы. Известно, что стресс-реакция сопровождается усилением работы центральной и вегетативной нервных систем, увеличением кровоснабжения мозга и изменениями мозговой активности. При реализации зрительной когнитивной деятельности отражением мозговой активности являются глазодвигательные реакции, которые выполняют различные функции – поиск информации, ее сканирование, построение и опознавание зри-

тельного образа. Движения глаз во время зрительного восприятия информации носят циклический характер и состоят из последовательных саккад и фиксаций (Ярбус, 1965).

Несомненно, в условиях временного ограничения параметры мозговой активности будут меняться, что повлечет и изменения параметров движений глаз (Candelieri et al., 2011). Исследования подтверждают, что в стрессовой ситуации происходят изменения параметров окуломоторной активности (Меркулова, Калинина, 2017). При выполнении зрительной когнитивной нагрузки в условиях стресса наблюдаются удлинение продолжительности фиксаций и резкое снижение числа саккад, которые увеличиваются по амплитуде (Филин, 2002). Эти данные согласуются с результатами исследования изменений в движениях глаз при напряженной работе на симуляторе вождения DriveSafety (Reyes, Lee, 2008). В исследованиях доказано, что выполнение когнитивной задачи в условиях ограничения времени приводит к изменению диаметра зрачка и увеличению умственного напряжения (Hertzum, Holmegaard, 2013). В работе (Stern, 1980) было обнаружено удлинение интервалов между морганиями при высокой когнитивной сосредоточенности.

Общеизвестно, что деятельность в условиях стресса сопровождается изменениями активности и других систем организма, прежде всего сердечно-сосудистой – как наиболее реактивной по отношению к стресс-факторам. Так, было обнаружено, что показатели вариабельности сердечного ритма (ВСР) значимо меняются с изменением напряженности когнитивной деятельности, и эти изменения ВСР оказались сильно скоррелированными с параметрами движения глаз (Руи, Myung, 2005).

Изучая изменения деятельности организма и его систем под влиянием стресс-агентов, необходимо учитывать индивидуальные функциональные особенности. Многочисленные исследования свидетельствуют о том, что в условиях психоэмоционального напряжения обнаруживаются отчетливые индивидуальные различия в устойчивости людей к стрессу (Александров, Судаков, 2005).

Ограничение времени при выполнении любой работы может оптимизировать все процессы в организме и привести к повышению эффективности, а может иметь и абсолютно противоположный эффект (Бабаева и др., 2012; Базаров, Туманян, 2012). В исследованиях (Кольцова, 2003) упоминается, что ограничение времени, как стресс-фактор, действует на организм обследуемых по-разному, в зависимости от их индивидуальных физиологических и психофизиологических особенностей. Имеются данные о влиянии личностных особенностей на регуляцию сердеч-

ного ритма при выполнении когнитивных нагрузок в условиях стресса. Сопоставление индивидуальных сдвигов показателей функционального состояния в ситуации мобилизационной готовности и при выполнении когнитивных заданий с комфортной и максимальной скоростью в условиях дефицита времени позволило выявить два основных типа вегетативного реагирования на нагрузку у детей 12–13 лет. Первый тип – реагирование преимущественно по симпатическому типу, второй – реагирование по парасимпатическому типу (Криволапчук и др., 2015). Также доказано, что параметры фиксаций и саккад зависят не только от вида и условий выполнения зрительной когнитивной деятельности, но и от индивидуально-типологических особенностей организма (Фоккин, 2014).

Таким образом, в ряде работ снижение резерва времени оценивается как стресс-фактор, получены данные о реакциях отдельных систем организма на деятельность в условиях ограничения по времени. Однако имеющиеся данные носят разрозненный и усредненный характер, без учета индивидуальных физиологических особенностей обследованных.

Цель нашего исследования – выявить особенности окуломоторной активности в процессе зрительной когнитивной деятельности без/с ограничения по времени у студентов с разным вегетативным статусом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 70 человек (студенты Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, 35 юношей и 35 девушек). Средний возраст обследованных составил 19 ± 1.5 года.

Участники исследования были соматически здоровы, не имели острых или хронических заболеваний сердечно-сосудистой системы, не имели патологий зрительной системы. Исследование проводили с добровольного согласия участников, вне периода сессии в первой половине дня с соблюдением норм биомедицинской этики (Declaration of Helsinki and European Community directives, 8/609 EC), в изолированном помещении, где действие различных отвлекающих факторов было сведено к минимуму.

Для выявления вегетативного статуса обследованных студентов и деления их на группы использовали запись кардиоинтервалографии при помощи аппаратно-программного комплекса “ВНС-спектр” (“Нейрософт”, Иваново), в первом стандартном отведении (левая рука и правая рука) с применением прижимных электродов (прищепки). Запись показателей электрокардиограммы проводили в состоянии спокойного бодрствования.

<i>a</i>					<i>б</i>				
Д_ЛЯ	Х_ЛМ	Ш_АБ	К_УБ	Ч_РТ	У_АС	Н_ТА	Л_НА	В_НО	Ч_ДО
Н_ЧЬ	З_ЕЯ	П_ЭТ	Т_ЛО	С_ЕД	Г_АЗ	П_ЮС	З_УК	И_ЕЯ	М_СТ
П_РО	Б_ДА	К_АН	С_ЕТ	П_ЛЯ	К_ША	Т_МП	Р_МА	Д_ША	М_ШЬ
Р_КА	С_ОК	Д_ЛО	Щ_ЛЬ	О_ЫТ	З_МА	Б_АТ	Л_ЦО	С_ЫД	К_АЙ
В_УС	В_АЧ	С_ЛО	С_ОР	М_ЗГ	У_ОД	Н_БЧ	С_ЛЬ	Г_УЗ	Б_АК
Г_ИБ	С_ЕГ	В_РА	У_ОК	Р_НА	Б_РО	Т_НЬ	Б_НК	Б_РТ	С_УК
У_АР	К_НО	Р_ЗА	Ц_ЕТ	С_УЛ	Х_ЕБ	К_ЮЧ	Ю_ОР	Г_РА	С_ЕХ
У_РО	Д_ОР	К_СА	М_НА	С_ОЛ	Т_УД	П_ЛЕ	Н_ША	Ж_РА	Н_ГА

Рис. 1. – Пример когнитивной пробы для чтения.

a – без ограничения по времени, *б* – в условиях ограничения времени.

ния (положение сидя, при ровном дыхании) и после ортостатической пробы по методике А.М. Вейна (Вейн, 1998). Продолжительность каждой записи для обследуемого составляла 2 мин. Регистрировали временные характеристики сердечного ритма и некоторые показатели вариационной пульсометрии по Р.М. Баевскому (Баевский, 2004).

Вегетативный баланс определяли по значению индекса напряжения (ИН) в состоянии спокойного бодрствования, однако изменения данного показателя значительно варьируют в ортостатической пробе даже у лиц с ваготоническим типом. В связи с этим вегетативный статус определяли не по исходному значению ИН, а по его динамике (реактивности) в ортостатической пробе: если ИН в ортопробе увеличивался более чем на 10% относительно фонового значения, респондентов относили к группе с симпатотоническим вариантом реактивности (группа 1 – 48% обследованных), если ИН уменьшался, то таких лиц относили к группе с ваготоническим вариантом реактивности (группа 2 – 32% обследованных). В случае если колебания ИН оставались в пределах $\pm 10\%$, респондентов относили к группе с нормотоническим вариантом (группа 3 – 20% обследованных).

Экспериментальная часть исследования была основана на бинокулярной регистрации окуломоторной активности в процессе решения когнитивных задач. Запись осуществляли при помощи стационарной системы бинокулярного трекинга глаз iView X™ RED, 500 Гц.

Стимульный материал представлял собой два набора по 40 слов из четырех букв с пропущенной второй буквой. В каждом стимуле было восемь строк по пять слов (рис. 1). Слова были взяты из словаря О.Н. Ляшевская, С.А. Шаров “Частотный словарь современного русского языка”. Из 20 тысяч слов было выбрано 2731 существитель-

ное, из них были отобраны слова из четырех букв (296 слов). Рандомно из 296 слов были выбраны 80 слов и далее случайным выбором были разделены на две группы. Слова были напечатаны 24 кеглем шрифтом Times New Roman, черным цветом, с расстоянием между соседними словами и строками 1 см и предъявлялись на экране монитора. Все слова являлись существительными в именительном падеже в единственном числе. В качестве верных ответов считались варианты слов, соответствующие условию эксперимента, например, сало-село, угар-удар. Имена собственные не считались правильным ответом.

Исследование проводили индивидуально с каждым студентом. Для записи параметров окуломоторной активности обследуемый располагался в регулируемом по высоте кресле перед монитором 22” на расстоянии 65–70 см от системы удаленной регистрации движения глаз. Перед началом исследования обследуемому сообщалось, что на экране монитора будут представлены слова с одной пропущенной буквой, и его задача заключается в том, чтобы прочитать их по порядку слева направо, вслух, вставляя пропущенные буквы. Чтение набора слов (когнитивная нагрузка) осуществляли в двух временных режимах: в произвольном темпе без ограничений по времени; с ограничением времени на выполнение задания и сопутствующей инструкцией о необходимости прочитать как можно больше слов за установленный промежуток времени (60 с), при этом в правом верхнем углу монитора на секундомере демонстрировался отсчет оставшегося времени.

Перед началом исследования осуществляли калибровку (запись проводилась с погрешностью не более 0.1°). После успешной калибровки в центре экрана монитора высвечивалась фиксационная точка, по мере готовности участника к решению заданий на ее месте предъявляли последовательно стимульный материал для работы в двух

временных режимах. Полученные данные трекинга глаз анализировали с применением программного пакета SMI BeGaze. Для проведения статистического анализа были выбраны основные параметры трекинга глаз: частота саккад, частота морганий, средняя длительность саккады, частота фиксаций, средняя длительность фиксации, средний разброс фиксаций, средняя амплитуда саккад.

Во время регистрации окуломоторной активности в процессе решения когнитивных задач одновременно фиксировали верные ответы и время выполнения задания для расчета эффективности когнитивной деятельности и времени обработки одного слова. Эффективность выполнения задания определяли как процент верно названных слов от общего количества слов в стимуле. Время, затрачиваемое на обработку одного слова, рассчитали, деля общее время обработки стимула (в секундах) на количество обработанных слов (ошибки и верные слова). Средняя продолжительность исследования одного студента составила 10–15 мин.

Статистический анализ изучаемых параметров проводили с применением набора компьютерных программ Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) for Windows v.23.0. В качестве описательного анализа был выбран метод непараметрической обработки данных, основанный на определении медиан (Me) и квартилей (Q1–Q3). Для исследования структуры взаимосвязей изучаемых переменных применяли корреляционный анализ с вычислением рангового коэффициента Спирмена. Оценку достоверности различий устанавливали при помощи непараметрического критерия знаковых рангов Уилкоксона. Непараметрические критерии использовали, поскольку распределение выборки не является нормальным. Различия параметров окуломоторной активности между группами определяли на основании U-критерия Манн–Уитни.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Наиболее чувствительными параметрами окуломоторной деятельности при решении когнитивных задач в разных временных условиях у обследованных студентов являются частота и длительность фиксаций, амплитуда и скорость саккад. Именно по этим параметрам были выявлены статистически значимые различия (табл. 1). У представителей всех трех групп при решении когнитивных задач в условиях ограничения времени значимо увеличивается частота фиксаций в секунду ($p \leq 0.05$). У студентов с симпатотоническими и нормотоническими статусами ВНС средняя продолжительность фиксаций снижается ($p \leq 0.05$), у парасимпатотоников – снижается на уровне тенденции. Кроме того, у представите-

лей с симпатотоническим вегетативным статусом обнаружено значимое снижение разброса (дисперсии) фиксаций (при $p = 0.041$). Анализ параметров саккад у обследованных в разных временных условиях работы выявил изменения по величине амплитуды и скорости саккад. Значимый характер изменений этих параметров зафиксирован только в группе с парасимпатическим вегетативным статусом: при ограничении временного ресурса наблюдалось достоверное увеличение указанных параметров. У нормотоников и симпатотоников подобные изменения зарегистрированы на уровне тенденции (табл. 1).

Анализируя особенности окуломоторной активности при зрительной когнитивной деятельности у представителей с разным вегетативным статусом в одинаковых временных условиях, мы выявили наиболее реактивные параметры: частота фиксаций в секунду, частота саккад в секунду и задержка саккады. При чтении в свободном временном режиме у студентов с симпатическим вегетативным статусом частота фиксаций была значимо ниже, чем у представителей с нормотоническим вегетативным статусом ($p \leq 0.05$). При деятельности в условиях ограничения времени частота фиксаций у симпатотоников возрастала, но была значимо ниже, чем у нормо- и парасимпатотоников ($p \leq 0.05$). Также у студентов с симпатотоническим вегетативным статусом в сравнении с нормотониками выявлены статистически значимые различия по параметрам частота саккад в секунду и задержка саккад при деятельности в условиях ограничения времени. У представителей этой группы отмечались достоверно повышенные параметры задержки саккад и достоверно сниженные значения частоты саккад ($p \leq 0.05$) (табл. 1).

Согласно результатам статистического анализа, у представителей с одинаковым вегетативным статусом при сравнении параметров эффективности решения когнитивных задач и времени обработки одного слова в разных временных условиях были установлены достоверные отличия (табл. 2). Ограничение времени достоверно снижает эффективность выполнения когнитивной задачи у симпатотоников ($p = 0.005$) и парасимпатотоников ($p = 0.018$). У представителей с нормотоническим вегетативным статусом эффективность выполнения когнитивной задачи увеличивается на уровне тенденции ($p = 0.395$). У обследованных всех трех групп время на обработку одного слова значимо снижается ($p \leq 0.05$).

Для выявления статистической взаимосвязи между параметрами окуломоторной активности и показателями эффективности деятельности у представителей с разным вегетативным статусом с учетом временных условий выполнения когнитивных задач был проведен корреляционный анализ (рис. 2).

Таблица 1. Показатели окулomotorной активности у представителей с разным вегетативным статусом при чтении слов в различных временных условиях

Показатель	Тип	Чтение без лимита Ме (Q1;Q3)	Чтение с лимитом Ме (Q1;Q3)	<i>p</i>
Частота фиксаций /с	Н	2.7 (2.1; 3.3)	3.0 (2.3; 3.6)	0.041*
	С	2.2 (1.9; 2.5) #	2.4 (2.1; 2.8) # ~	0.003*
	П	2.4 (2; 2.7)	2.9 (2.3; 3)	0.006*
Длительность фиксаций, мс	Н	237.2 (206.7; 340.2)	222.9 (164.5; 301.1)	0.028*
	С	296.3 (226.7; 361.5)	264.3 (203.7; 321.7)	0.004*
	П	257 (229.1; 321.9)	253.2 (211.4; 291.6)	0.249
Стандартное отклонение (дисперсия фиксаций), мс	Н	72.4 (66.5; 81.9)	76.5 (57.2; 126.5)	0.398
	С	78.4 (59.7; 91.4)	67.8 (57.8; 92.3)	0.041*
	П	75.2 (64.1; 88.5)	71.7 (57.5; 86.3)	0.294
Частота саккад /с	Н	2.8 (2.3; 4.5)	3.9 (2.8; 4.8)	0.176
	С	2,2 (2; 3.8)	2.7 (2.2; 2.9) #	0.334
	П	3.2 (1.9; 4.4)	3.1 (2.2; 4.3)	0.875
Длительность саккады, мс	Н	36.8 (34.5; 46.8)	46.5 (37.2; 49.7)	0.128
	С	40.7(36.4; 42.4)	39.2 (37; 43.8)	0.895
	П	39.2 (35.6; 44.1)	39.5 (36.1; 45.8)	0.638
Амплитуда саккады, град	Н	3.3 (3; 7.2)	4.1 (3.3; 7)	0.236
	С	4 (3; 5)	3.9 (3.6; 5.3)	0.859
	П	3.9 (2.9; 4.7)	4.7 (4.1; 5.2)	0.033*
Скорость саккады, град/с	Н	76.2 (68; 113.9)	82.7 (59.7; 167.7)	1.0
	С	85 (66.3; 109.6)	84.5 (73.7; 99.7)	0.923
	П	75.8 (65.9; 98.1)	89.5 (85.2; 106.9)	0.033*
Задержка саккады, мс	Н	304.6 (184.4; 401.3)	215.8 (145.9; 301.6)	0.128
	С	409.6 (222.1; 471.3)	333.4 (308.3; 410.9) #	0.337
	П	260.1 (190.7; 465.3)	287 (187.9; 400.3)	0.422
Частота морганий /с	Н	0.5 (0.1; 1)	0.5 (0.1; 0.8)	0.236
	С	0.5 (0.3; 0.8)	0.4 (0.2; 0.7)	0.174
	П	0.4 (0.2; 0.5)	0.3 (0.1; 0.6)	0.314

Примечание: отличия показателей окулomotorной активности значимы при $p < 0.05$: * с учетом временных условий деятельности; # при сравнении представителей с симпатотоническим и нормотоническим вегетативным статусом; ~ при сравнении представителей с симпатотоническим и парасимпатотоническим статусом; Ме – медиана; (Q1–Q3) – квартили; Н – нормотоники; С – симпатотоники; П – парасимпатотоники.

Таблица 2. Показатели успешности выполнения когнитивной задачи в различных временных условиях у представителей с разным вегетативным статусом

Показатель	Тип	Чтение без лимита Ме (Q1;Q3)	Чтение с лимитом Ме (Q1;Q3)	<i>p</i>
Эффективность выполнения	Н	0.82 (0.70; 0.92)	0.85 (0.77; 0.90)	0.395
	С	0.90 (0.80; 0.92)	0.82 (0.75; 0.92)	0.005*
	П	0.95 (0.88; 0.95)	0.85 (0.78; 0.92)	0.018*
Время обработки одного слова (в секундах)	Н	2.07 (1.42; 2.55)	1.10 (1.03; 1.25)	0.019*
	С	2.22 (1.62; 2.82)	1.35 (1.20; 1.53)	0.001*
	П	2.33 (1.34; 2.60)	1.35 (1.04; 1,50)	0.005*

Примечание: * значения, отличия которых значимы на уровне $p < 0.05$; Ме – медиана; (Q1–Q3) – квартили; Н – нормотоники; С – симпатотоники; П – парасимпатотоники.

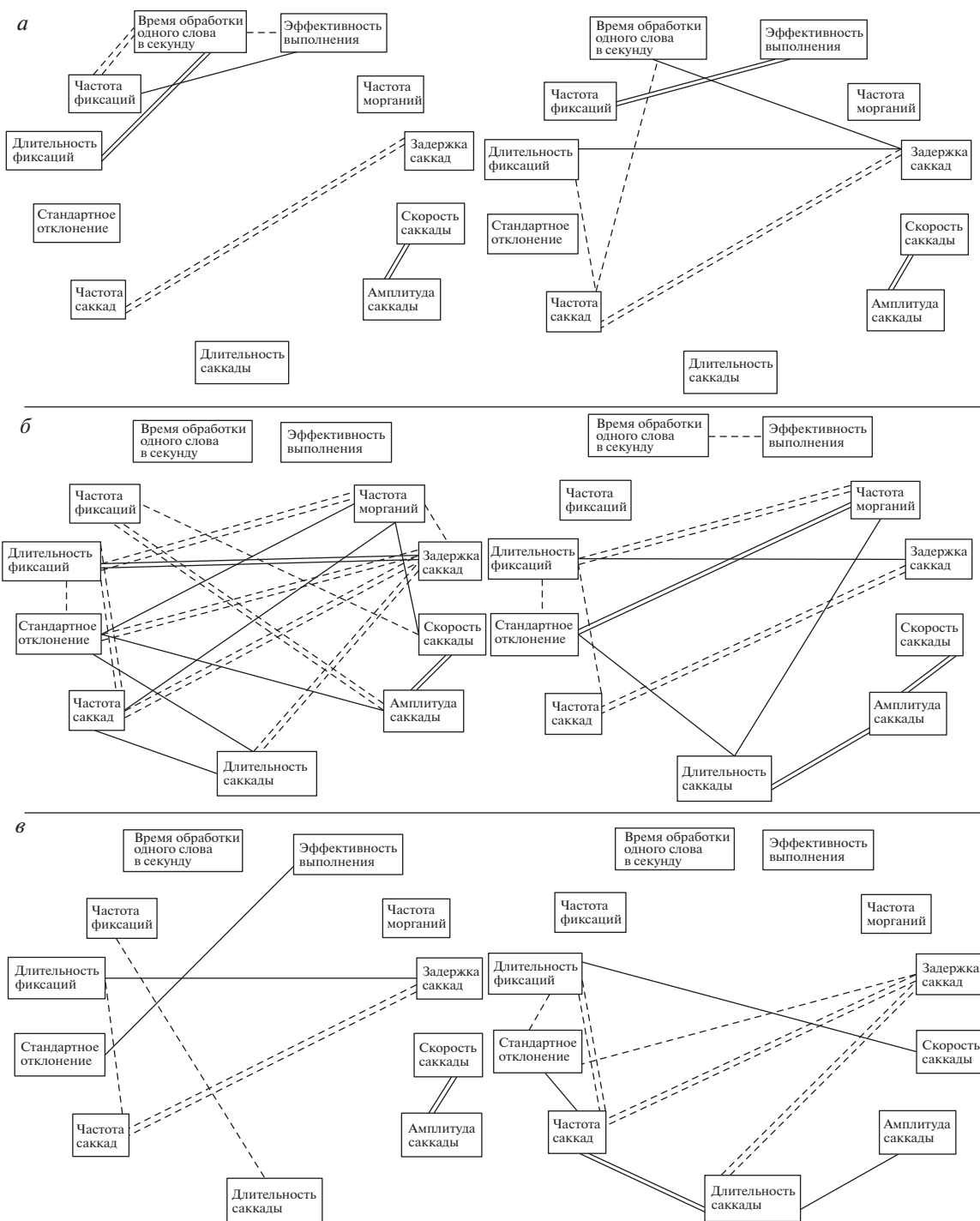


Рис. 2 – Статистическое взаимодействие параметров окуломоторной активности и успешности выполнения зрительных когнитивных задач у испытуемых с разным вегетативным статусом.

a – нормотоники; *b* – симпатотоники; *v* – парасимпатотоники.

Левый столбец корреляционных матриц – чтение в свободном временном режиме.

Правый столбец корреляционных матриц – чтение в условиях временного лимита.

— — — — прямые корреляции, статистически значимые на уровне 0.05,

- - - - - обратные корреляции, статистически значимые на уровне 0.05,

— · — · — прямые корреляции, статистически значимые на уровне 0.01,

- · - · - обратные корреляции, статистически значимые на уровне 0.01.

У представителей с нормотоническим вегетативным статусом при деятельности в свободном временном режиме выявляются прямые статистические связи между параметрами фиксации и эффективностью деятельности, скоростью и амплитудой саккад. При этом выявляются сильные обратные связи между частотой саккад и латентным временем саккад, и с частотой фиксации и временем обработки одного слова в секунду, а также между параметрами эффективности деятельности и временем обработки одного слова в секунду (рис. 2, а). При выполнении когнитивной задачи в условиях лимита времени у представителей этой группы наблюдается усиление прямого взаимодействия между эффективностью деятельности и частотой фиксации. Временной параметр эффективности напрямую зависит от задержки саккады и снижается при увеличении частоты фиксации.

Для представителей с симпатотоническим вегетативным статусом при чтении без временного ограничения в корреляционной плеяде представлены разнообразные достоверные прямые и обратные связи, количество и сила которых снижаются при введении лимитирующего временного фактора (рис. 2, б). Очевидно, такие изменения статистического взаимодействия при влиянии лимита времени являются маркерами снижения эффективности когнитивной деятельности.

У представителей с парасимпатотоническим вегетативным статусом при когнитивной деятельности в произвольном временном режиме наблюдается минимальное статистическое взаимодействие изучаемых параметров. Определяющими показателями для данной деятельности являются скорость и амплитуда саккад, латентное время саккад, а также параметры фиксации (рис. 2, в). При этом эффективность деятельности зависит от дисперсии фиксации. Изменения статистического взаимодействия изучаемых параметров у представителей этой группы обследованных при влиянии лимитирующего временного фактора исключают корреляции с параметрами эффективности.

ОБСУЖДЕНИЕ

У обследованных с разным вегетативным статусом реализация зрительного восприятия и когнитивных процессов в разных временных условиях сопровождается специфическими изменениями параметров движений глаз, что подтверждается данными зарубежных исследователей (Rendon-Velez et al., 2016).

При сравнении изучаемых параметров в группах с одинаковым вегетативным статусом и с учетом разных временных условий работы были выявлены наиболее реактивные параметры дви-

жений глаз: частота фиксации, средняя продолжительность фиксации, дисперсия фиксации. При действии лимитирующего временного фактора во всех трех группах частота фиксации увеличивалась, а длительность – снижалась. Некоторые исследователи отмечают, что увеличение частоты фиксации и уменьшение длительности фиксации при зрительной когнитивной деятельности могут быть связаны с более сложными условиями работы, с влиянием стресс-фактора, в данном случае таковым является снижение резерва времени (Барабанщиков, Жегало, 2014). При работе в условиях временного ограничения студенты успевают обработать большее количество слов, совершая при этом большее количество фиксации меньшей продолжительности, т.е. зрительное восприятие в данных условиях характеризуется увеличением аналитической компоненты при меньших временных затратах. При этом дисперсия фиксации снижается, что свидетельствует о том, что движения глаз становятся более стереотипными.

Были установлены достоверные отличия параметров саккад у представителей с одинаковым вегетативным статусом, но в разных временных условиях работы. По результатам исследований (Барабанщиков, Жегало, 2014) известно, что увеличение амплитуды и скорости саккад свидетельствует об увеличении сложности решаемой задачи и является следствием активации когнитивной деятельности. Следует отметить, что в естественных условиях длительность саккад пропорциональна их амплитуде и скорости (при увеличении длительности саккады амплитуда и скорость также возрастают). Вероятно, такое соотношение параметров саккад является наиболее оптимальным. В условиях работы с ограничением временного ресурса у представителей с парасимпатическим вегетативным статусом значительно увеличиваются амплитуда и скорость саккады при неизменной временной длительности саккады.

Как показали наши исследования, реализация зрительной деятельности в обычных временных условиях и в условиях снижения резерва времени у представителей с разным вегетативным статусом осуществляется по своей специфической программе. Маркерами специфичности являются частота фиксации, частота саккад и задержка саккад.

Некоторая специфичность была выявлена и при оценке эффективности выполнения задания. У представителей с нормотоническим вегетативным статусом при выполнении когнитивных задач в условиях ограничения времени наблюдаются увеличение эффективности и снижение времени на обработку одного слова. Такая динамика свидетельствует о стимулирующем влиянии временного ограничения на успешность выполне-

ния когнитивной задачи. У представителей с симпатотоническим и парасимпатотоническим вегетативным статусами зафиксировано снижение эффективности выполнения зрительной когнитивной задачи в условиях лимита времени.

Сравнивая особенности статистического взаимодействия изучаемых параметров у представителей с разным вегетативным статусом, можно выделить те изменения корреляций, которые обеспечивают положительную динамику эффективности деятельности в условиях ограничения времени (рис. 2).

В группе нормотоников, где наблюдался рост эффективности деятельности, формируются статистические связи между минимальным количеством изучаемых параметров. Для нормотоников при работе в произвольном ритме определяющими параметрами восприятия зрительной информации являются амплитуда и скорость саккад, длительность и частота фиксации, при этом эффективность деятельности напрямую зависит от частоты фиксации, а время на обработку одного слова будет снижаться при увеличении частоты фиксации и снижении длительности фиксации. При выполнении когнитивной задачи в условиях лимита времени у представителей этой группы наблюдается усиление статистического прямого взаимодействия, выявленного при деятельности без временных ограничений. Поскольку по результатам оценки эффективности деятельности у нормотоников наблюдается положительная динамика по сравнению с другими группами обследуемых, то, вероятно, именно такие изменения статистического взаимодействия являются наиболее эффективными.

Для представителей с симпатотоническим вегетативным статусом корреляционная плеяда, отражающая взаимодействие параметров окулomotorной активности и эффективности деятельности при чтении слов без временного ограничения, характеризуется разнообразными достоверными прямыми и обратными связями, количество и сила которых незначительно снижаются при введении лимитирующего временного фактора. Однако эти изменения статистического взаимодействия приводят к снижению эффективности когнитивной деятельности.

У представителей с парасимпатотоническим вегетативным статусом при когнитивной деятельности в произвольном временном режиме корреляционная плеяда объединяет скорость и амплитуду саккад, латентное время саккад, а также параметры фиксации. При этом эффективность деятельности зависит от дисперсии фиксации. При действии лимитирующего временного фактора статистические перестройки, связанные с потерей взаимосвязей между параметрами эф-

фективности деятельности и показателями окулomotorной активности, приводят к значимому снижению успешности выполнения когнитивной задачи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показали наши исследования, реализация зрительного восприятия у представителей с разным вегетативным статусом и в разных временных условиях имеет специфические особенности. Известно, что вегетативный статус организма, а значит, и тип реакции на стресс, определяются преобладанием активации симпатического или парасимпатического отделов ВНС, в связи с чем деление всех участников нашего исследования на группы по типу реакции ВНС обосновано.

Острый недостаток времени является мощным лимитирующим фактором, который может запустить специфические реакции ВНС, повлиять на эффективность и качество работы, энергетические и физиологические затраты. Несомненно, лимит времени следует рассматривать как важный фактор, влияющий на реализацию когнитивных функций.

Поскольку в индивидуальной стратегии адаптации человека к лимитирующим факторам, создающим стрессовые условия, механизмы ЦНС, ВНС и висцеральных функций взаимосвязаны, то параметры окулomotorных реакций в процессе выполнения когнитивной задачи в условиях временного ограничения могут служить маркерами функциональных изменений в организме и успешности деятельности. В результате наших исследований выявлены наиболее чувствительные параметры окулomotorной активности при когнитивной деятельности в условиях лимита времени – частота фиксации, средняя продолжительность фиксации, дисперсия фиксации, амплитуда и скорость саккад. При этом необходимо учитывать, что у представителей с различными индивидуально-типологическими особенностями вегетативного статуса эти маркеры могут варьировать: у нормотоников наиболее чувствительными к лимитирующему временному фактору являются частота фиксации, средняя продолжительность фиксации; у симпатотоников – частота фиксации, средняя продолжительность фиксации, дисперсия фиксации; у парасимпатотоников – частота фиксации, амплитуда и скорость саккад. У представителей выделенных нами групп в процессе когнитивной работы в разных временных условиях зафиксированы разная эффективность выполнения заданий и скорость обработки одного слова. В условиях ограничения времени у симпатотоников и парасимпатотоников снижается эффективность, а скорость выпол-

нения задачи увеличивается, однако, выраженность этих изменений разная. Наиболее эффективная и скоростная обработка зрительной информации в условиях временного лимита, обеспечиваемая увеличением частоты фиксации и снижением длительности фиксации, характерна для представителей с нормотоническим вегетативным статусом.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-313-90062.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной статьи подтвердили отсутствие конфликта интересов, о котором необходимо сообщить.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Александров Е.А., Судаков К.В. Информационные свойства функциональных систем и их математическое моделирование. *Информационные модели функциональных систем*. М.: Фонд “Новое тысячелетие”, 2004. С. 7–32.
- Бабаева Ю.Д., Ротова Н.А., Сабашош П.А. Детерминанты выполнения теста интеллекта в условиях ограничения времени. *Психологические исследования: электронный научный журнал*. 2012.
- Баевский Р.М. Анализ вариабельности сердечного ритма: история и философия, теория и практика. *Клиническая информатика и телемедицина*. 2004. № 1. С. 54–64.
- Базаров Т.Ю., Туманян Д.Г. Влияние дефицита времени на решение творческих задач. *Национальный психологический журнал*. 2012. № 2 (8). С. 116–123.
- Барабанщиков В.А., Жегало А.В. *Айтрекинг: методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике*. М.: Когито-Центр, 2014. 128 с.
- Вейн А.М. *Вегетативные расстройства. Клиника, диагностика, лечение* / Под ред. А.М. Вейна. М.: Медицина, 1998. 740 с.
- Канеман Д. *Внимание и усилие*. М.: Смысл, 2006. 287 с.
- Кольцова М.М. *Медлительные дети*. СПб.: Речь, 2003. 96 с.
- Криволапчук И.А., Чернова М.Б., Савушкина Е.В. Функциональное состояние детей 12–13 лет при выполнении когнитивных заданий. *Новые исследования*. 2015. № 4 (45). С. 24–32.
- Меркулова А.Г., Калинина С.А. Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к летной деятельности. *Гигиена и санитария*. 2017. № 96 (8). С. 752–755. <https://doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-8-752-755>
- Филин В.А. *Автоматия саккад*. М.: Изд-во МГУ, 2002. 240 с.
- Фокин В.Ф., Пономарева Н.В., Клопов В.И., Танащян М.М., Лагода О.В. Сосудистая реактивность, вызванная когнитивной нагрузкой, у больных дисциркуляторной энцефалопатией. *Асимметрия*. 2014. № 3. С. 4–22.
- Ярбус А.Л. *Роль движения глаз в процессе зрения*. М.: Наука, 1965. 173 с.
- Candelieri A., Riganello F., Cortese D., Sannita W.G. Functional status and the eye-tracking response: A data mining classification study in the vegetative and minimally conscious states. *Proceedings of the International Conference on Health Informatics*. 2011. P. 138–141. <https://doi.org/10.5220/0003128201380141>
- Hertzum M., Holmegaard K.D. Perceived Time as a Measure of Mental Workload: Effects of Time Constraints and Task Success. *Intern. J. Human-Computer Interaction*. 2013. V. 29 (1). P. 26–39. <https://doi.org/10.1080/10447318.2012.676538>
- Mou J., Shin D. Effects of social popularity and time scarcity on online consumer behaviour regarding smart healthcare products: An eye-tracking approach. *Computers in Human Behavior*. 2018. V. 78. P. 74–89. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2017.08.049>
- Rendon-Velez E., van Leeuwen P. M., Happee R., Horváth I., van der Vegte W.F., de Winter J.C. F. The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2016. V. 41. P. 150–169. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.013>
- Reyes M.L., Lee J.D. Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2008. V. 11 (6). P. 391–402. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.03.004>
- Ryu K., Myung R. Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005. V. 35. P. 991–1009. <http://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.04.005>
- Stern J.A., Aspects of Visual Search Activity Related to Attentional Processes and Skill Development (Final Report, Contract F49620-79-C0089). *Air Force Office of Scientific Research*. Washington, DC. 1980.

Oculomotor activity in solving visual cognitive tasks under different time conditions

A. I. Taleeva^{a,#} and N. V. Zvyagina^a

^a Northern (Arctic) Federal University 163002 Arkhangelsk, Severnaya Dvina Emb. 17, Russia

[#] E-mail: a.taleeva@narfu.ru

Oculomotor activity is a physiological marker of cognitive activity. The parameters of visual-motor reactions reflect the brain processes of perception, processing, and comprehension of received information. In con-

temporary society, a person lives in conditions of rapid socio-economic and technological changes, high information loads, accelerated pace of life and ever-increasing time pressure. Activity in time pressure conditions or work performed within strictly limited time are characterized by the use of additional physiological reserves, psychological and psychophysiological disbalance, changes in the brain activity, which can lead to the development of a stress reaction. In representatives with different types of autonomic regulation of functions, stress reactions have specific manifestations that will be traced in the functioning of the most reactive systems of the body, affect brain activity and, accordingly, during the implementation of visual cognitive activity, affect the parameters of oculomotor activity. Seventy students of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov have participated in the research. We studied oculomotor reactions of students with different vegetative status when solving cognitive tasks at an arbitrary pace and under time pressure. The most sensitive parameters of oculomotor reactions when reading under time limit conditions were identified: fixations frequency, average duration of fixations, dispersion of fixations, amplitude and speed of saccades. At the same time, it was shown that in representatives with different individual-typological features of the vegetative status, these markers can vary. In representatives with different status of the autonomic nervous system in the process of cognitive work in different time conditions, different performance of tasks was recorded. The most effective and high-speed processing of visual information in the conditions of the time limit, accompanied by an increase in the parameters of the frequency of fixations and a decrease in the duration of fixations, is characteristic of representatives with a normotonic vegetative status.

Key words: Oculomotor activity, saccades, fixations, cognitive task, vegetative status, physiological adaptation

REFERENCES

- Aleksandrov Ye.A., Sudakov K.V. Informatsonnyye svoystva funktsional'nykh sistem i ikh matematicheskoye modelirovaniye [Informational properties of functional systems and their mathematical modeling]. Informatsonnyye modeli funktsional'nykh sistem [Information models of functional systems]. Moscow. Fond "Novoye tsysyacheletiyе", 2004. S. 7–32.
- Babayeva Yu.D., Rotova N.A., Sabadosh P.A. Determinanty vypolneniya testa intellekta v usloviyakh ogranicheniya vremeni [Determinants of intellectual test performance under time pressure] *Psikhologicheskoye issledovaniya: elektronnyy nauchnyy zhurnal*. [Psychological research: electronic scientific journal]. 2012.
- Bayevskiy R.M. Analiz variabel'nosti serdechnogo ritma: istoriya i filosofiya, teoriya i praktika [The analysis of heart rate variability: history and philosophy, theory and practice]. *Klinicheskaya informatika i telemeditsina*. [Clinical informatics and telemedicine]. 2004. V. 1. P. 54–64.
- Bazarov T.Yu., Tumanyan D.G. Vliyaniye defitsita vremeni na resheniye tvorcheskikh zadach [The effect of time pressure on creative problem solving]. *Natsional'nyy psikhologicheskoy zhurnal* [National Psychological Journal]. 2012. V. 2(8). P. 116–123.
- Barabanshikov V.A., Zhegallo A.V. Aitrekning: Metody registratsii dvizhenii glaz v psikhologicheskikh issledovaniyakh i praktike [Eyetracking: Eye movements registration methods in psychological research and practice]. Moscow. Kogito-tsentr. 2014. 128 p.
- Veyn A.M. Vegetativnyye rasstroystva. Klinika, diagnostika, lecheniye [Vegetative disorders. Clinical picture, diagnosis, treatment]. Pod red. A.M. Veyna. Moscow. Meditsina. 1998. 740 p.
- Kaneman D. Vnimaniye i usiliye [Attention and Effort]. Moscow. Smysl. 2006. 287 p.
- Kol'tsova M.M. Medlitel'nyye deti [Slow children]. Sankt-Peterburg: Rech'. 2003. 96 p.
- Krivolapchuk I.A., Chernova M.B., Savushkina Ye.V. Funktsional'noye sostoyaniye detey 12–13 let pri vypolnenii kognitivnykh zadaniy [The functional state of children 12–13 years old when performing cognitive tasks]. *Novyye issledovaniya*. [New research]. 2015. V. 4 (45). P. 24–32.
- Merkulova A.G., Kalinina S.A. Raspredeleniye zritel'nogo vnimaniya pri podgotovke pilotov-kursantov k lotnoy deyatelnosti [The distribution of the visual attention in the training of student-pilots for the flight activity]. *Gigiyena i sanitariya*. [Gigiena i Sanitaria]. 2017. № 96 (8). P. 752–755. <http://doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-8-752-755>
- Filin V.A. Avtomatiya sakkad [Automatic saccades]. Moscow: Izdatel'stvo MGU. 2002. 240 p.
- Fokin V.F., Ponomareva N.V., Klopov V.I., Tanashian M.M., Lagoda O.V. Sosudistaya reaktivnost', vyzvannaya kognitivnoy nagruzkoy, u bol'nykh distsirkulyatornoy entsfalopatiyey [Vascular reactivity induced by cognitive task in patients with vascular encephalopathy]. *Asimetriya*. [Asymmetry]. 2014. № 3. P. 4–22.
- Yarbus A.L. Rol' dvizheniya glaz v protsesse zreniya [Eye Movements and Vision]. M: Nauka, 1965. 173 p.
- Candelieri A, Riganello F, Cortese D, Sannita W.G. Functional status and the eye-tracking response: A data mining classification study in the vegetative and minimally conscious states. *Proceedings of the International Conference on Health Informatics*. 2011. P. 138–141. <https://doi.org/10.5220/0003128201380141>
- Hertzum M., Holmegaard K.D. Perceived Time as a Measure of Mental Workload: Effects of Time Constraints and Task Success. *Intern. J. Human-Computer Interaction*. 2013. V. 29 (1). P. 26–39. <https://doi.org/10.1080/10447318.2012.676538>
- Mou J., Shin D. Effects of social popularity and time scarcity on online consumer behaviour regarding smart healthcare products: An eye-tracking approach. *Computers in Human Behavior*. 2018. V. 78. P. 74–89. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2017.08.049>

- Rendon-Velez E., van Leeuwen P.M., Happee R., Horváth I., van der Vegte W.F., de Winter J.C. F. The effects of time pressure on driver performance and physiological activity: A driving simulator study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2016. V. 41. P. 150–169.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.013>
- Reyes M.L., Lee J.D. Effects of cognitive load presence and duration on driver eye movements and event detection performance. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2008. V. 11 (6). P. 391–402.
<https://doi.org/10.1016/j.trf.2008.03.004>
- Ryu K., Myung R. Evaluation of mental workload with a combined measure based on physiological indices during a dual task of tracking and mental arithmetic. *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2005. V. 35. P. 991–1009.
<http://doi.org/10.1016/j.ergon.2005.04.005>
- Stern J.A. *Aspects of Visual Search Activity Related to Attentional Processes and Skill Development (Final Report, Contract F49620-79-C0089)*. Air Force Office of Scientific Research. Washington, DC. 1980.