

УДК 159.931 612.846 612.821.2

ВЛИЯНИЕ КОГНИТИВНОЙ ЗАДАЧИ НА ПАРАМЕТРЫ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ ПРИ ПРОСМОТРЕ СТАТИЧЕСКИХ И ДИНАМИЧЕСКИХ СЦЕН

© 2016 г. М. А. Шурупова, В. Н. Анисимов, Л. В. Терещенко, А. В. Латанов

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
“Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова”*

*119991 Москва, Ленинские Горы, д. 1
E-mail: latanov@neurobiology.ru*

Поступила в редакцию 20.09.2015

Проведено сравнительное исследование параметров движений глаз у человека во время просмотра статических и динамических сцен в режимах свободного просмотра и при выполнении когнитивных зрительных заданий. Особенности зрительной деятельности существенно влияют на параметры движений глаз: выполнение когнитивных заданий приводит к укорочению фиксации и увеличению амплитуд саккад при просмотре как статических, так и динамических сцен. При наблюдении динамических сцен отмечаются более продолжительные фиксации и большие амплитуды саккад по сравнению с просмотром статических сцен независимо от режима просмотра. Длительности фиксации существенно варьируют в зависимости от задания, когда испытуемые просматривают динамические сцены. В случае статических сцен подобной зависимости длительностей фиксации от типа задания не выявлено. Амплитуды саккад определяются только особенностями зрительной сцены, но не характером зрительной деятельности. Выявленная динамика параметров движений глаз обусловлена различной выраженностью мод зрения (амбьентной и фокальной) при разных видах зрительной деятельности.

Ключевые слова: движения глаз, моды зрения, статические зрительные сцены, динамические зрительные сцены, зрительная задача, внимание, саккады, фиксации.

ВВЕДЕНИЕ

Параметры движений глаз при рассматривании зрительных сцен в режиме реального времени отражают процессы зрительного внимания и обработки зрительной информации. Для сканирования зрительной сцены глаза совершают саккады для проецирования интересующей части зрительной сцены на центральную ямку (фовеа). Восприятие деталей изображения с участием процессов внимания и памяти происходит во время остановки взора (фиксации) на определённом фрагменте зрительной сцены. В соответствии с премоторной теорией внимания (Rizzolatti et al., 1994), распределение фиксации взора наблюдателя по зрительной сцене напрямую отражает распределение его пространственного внимания. Данная теория базируется на результатах исследований траекторий движений глаз (Sheliga et

al., 1995; Deubel, Schneider, 1996) и фМРТ-реакций коры мозга (Corbetta et al., 1998) у человека. Премоторную теорию внимания связывают не только с ориентировкой на определённую область зрительного пространства, но и с ориентировкой на определённые зрительные объекты, вызывающие двигательные и ментальные акты (Rizzolatti, Luppino, 2001).

Полагают, что на просмотр зрительных сцен влияют факторы двух типов: низкоуровневые, обусловленные физическими свойствами изображения – яркостью, контрастностью, чёткостью, текстурой, числом и расположением объектов, и высокоуровневые, обусловленные семантическими свойствами объектов и спецификой выполняемой зрительной задачи. Низкоуровневые факторы активируют восходящее внимание (*bottom-up*, непроизвольное), высокоуровневые – нисходящее внимание (*top-down*, произвольное) (Petersen,

Posner, 2012). Оба типа внимания тесным образом взаимодействуют между собой.

Движения глаз при просмотре статических зрительных сцен (СтС) исследованы в большом числе работ. По результатам этих исследований, параметры движений глаз существенно зависят от низкоуровневых факторов, обусловленных физическими свойствами зрительной сцены (яркость, контрастность, четкость) (Loftus et al., 1985; Itti, Koch, 2000; Le Meur et al., 2006; Henderson et al., 2013). Кроме того, показано, что на них влияют также и особенности выполняемой испытуемыми задачи (произвольный просмотр, зрительный поиск, мнемическая задача) (Ярбус, 1961; Henderson, Pierce, 2006; Pannasch et al., 2008; Mills et al., 2011; Borji, Itti, 2014; Kanan et al., 2014). Значительно меньшее число аналогичных работ проведено при просмотре динамических зрительных сцен (ДинС) (Velichkovsky et al., 2005; Smith, Mital, 2013).

В ряде исследований продемонстрирована взаимосвязь длительностей фиксации и амплитуд саккад при просмотре СтС (Velichkovsky et al., 2002; Unema et al., 2005; Tatler, Vincent, 2008; Follet et al., 2011). В этих работах выявлена определенная зависимость между параметрами фиксации и саккад: за короткими фиксациями следуют высокоамплитудные саккады и, наоборот, после длительных фиксаций следуют саккады с малыми амплитудами. В первом случае зрительная система функционирует в режиме (моде) амбьентного зрения (пространственного, динамического), а во втором – фокального зрения (предметного, статического).

При амбьентной моде (АМ) происходит быстрое сканирование зрительного пространства в целях выделения объектов и их пространственного расположения, направления и скорости движения. При фокальной моде (ФМ) происходит выделение признаков объектов (размера, формы, яркости, цвета), их распознавание, а также определение их семантических свойств в контексте выполняемой задачи. Функциональное подразделение мод зрения связывают с функциональной дихотомией информационных потоков в зрительной системе приматов, в которой вентральный поток обеспечивает распознавание объектов (путь “что”), а дорзальный поток специализирован на обработке пространственных взаимоотношений объектов зрительной сцены (путь “где”) (Ungerleider, Mishkin, 1982). Кроме того, зрительно-пространственная обработка информации в дорзальном потоке используется для захвата объектов и манипуляций с ними (Goodale et al., 1991). Дихотомию

АМ и ФМ связывают с вовлечением восходящего и нисходящего внимания, соответственно (Unema et al., 2005; Velichkovsky et al., 2005; Follet et al., 2011).

Мы провели исследование зависимости параметров движений глаз от режима просмотра (свободный и с когнитивным заданием) СтС и ДинС. Кроме того, в нашем исследовании при просмотре обоих типов сцен мы предлагали испытуемым разные по содержанию когнитивные задачи. До настоящего времени подобные исследования не проводились.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В эксперименте принимали участие 25 испытуемых (16 женщин и 9 мужчин в возрасте 19–25 лет, учащиеся и сотрудники МГУ им. М.В. Ломоносова). Все испытуемые имели нормальное зрение, не страдали неврологическими заболеваниями и участвовали в экспериментах первый раз. Каждый испытуемый подписывал письменное согласие на участие в эксперименте. Эксперименты проводили с соблюдением правил биоэтики.

Для проведения экспериментов использовали оригинальную установку, общие конструктивные принципы которой описаны в предыдущих работах коллектива (Ермаченко и др., 2011; Анисимов и др., 2014). Движения правого глаза регистрировали с использованием цифровой видеокамеры FastVideo (КМОП-матрица “LUPA-300”, формат 1/2”, ООО “НПО Астек”, Россия) с частотой 200 Гц. Для съемки глаза использовали инфракрасную подсветку. Видеопоток от камеры сохраняли на диск в стандартном avi-формате для дальнейшей обработки. Определение координат центра зрачка и перевод координат матрицы камеры в координаты экрана осуществляли при помощи разработанного нами программного обеспечения. Для управления экспериментом и обработки данных использовали также оригинальное программное обеспечение. Изображение предъявляли на экране монитора Samsung с диагональю 23" (с разрешением 1920 × 1080 пикселей) на расстоянии 60 см от глаз испытуемых, занимая при этом 47° по горизонтали и 26° по вертикали их зрительного поля. В экспериментах голову испытуемых фиксировали при помощи лобно-подбородной подставки.

В экспериментах испытуемым предъявляли два типа стимульного материала – СтС (формат jpeg, разрешение 1920×1080) (рис. 1, а) и ДинС (формат mp4, разрешение 1920 × 1080) (рис. 1, б).



Рис. 1. Статические зрительные сцены (а) и скриншоты динамических зрительных сцен (б), предъявляемые в экспериментах.

Все зрительные сцены (три СтС и три ДинС) предъявляли испытуемым 2 раза. Первый раз испытуемые последовательно просматривали все зрительные сцены (сначала три СтС, затем три ДинС) произвольно без какого-либо задания (режим свободного просмотра, СП). Перед повторным показом каждой зрительной сцены (в том же порядке) испытуемым давалась соответствующая инструкция (режим просмотра с заданием, ПЗ):

1 – для СтС 1 и ДинС 1 – “Определите, в каком городе происходит действие”;

2 – для СтС 2 и ДинС 2 – “Определите историческую эпоху”;

3 – для СтС 3 и ДинС 3 – “Посчитайте число растений” (для СтС) и “Посчитайте число картин” (для ДинС).

ДинС подбирались такие, чтобы они были сняты “одним кадром”, т.е. с одной позиции камеры без смены планов. Длительность экспозиции каждой зрительной сцены составляла 20 с. Испытуемые не были осведомлены о целях эксперимента и заранее не знали, что зрительные сцены будут демонстрироваться повторно с инструкцией.

Для статистической обработки данных использовали пакет программ Minitab 17. Для выявления влияния различных переменных (факторов) на параметры движений глаз использовали метод многофакторного дисперсионного анализа (MANOVA). Исследовали влияние факторов “испытуемый” (с уровнями от 1 до 25), “тип сцены” (с уровнями СтС и ДинС), “задание” (с уровнями СП и ПЗ), “сцена” при СП (с уровнями 1, 2 и 3) и “тип задания” при ПЗ (с уровнями 1, 2 и 3). Все

парные сравнения исследуемых параметров выполнены с использованием t -критерия Стьюдента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Параметры движений глаз при просмотре статических зрительных сцен. Длительности фиксации в режиме ПЗ каждой СтС уменьшаются по сравнению с режимом СП той же сцены (рис. 2, а), а амплитуды саккад, наоборот, возрастают (рис. 2, б). По модели двухфакторного дисперсионного анализа для каждой СтС в отдельности мы выявили высоко достоверное влияние фактора “задание” ($p < 0.0001$) и фактора “испытуемый” ($p < 0.0001-0.001$) на длительности фиксации при просмотре всех трех сцен.

Однако достоверное влияние фактора “задание” ($p < 0.0001$) на амплитуду саккад показано только для СтС 1 при достоверном влиянии фактора “испытуемый” ($p < 0.0001$) для всех трех сцен.

Параметры движений глаз при просмотре динамических зрительных сцен. Так же как и для СтС длительности фиксации в режиме ПЗ определенной ДинС уменьшаются по сравнению с режимом СП той же сцены (рис. 3, а), а амплитуды саккад, наоборот, возрастают (рис. 3, б).

Методом двухфакторного дисперсионного анализа для каждой ДинС в отдельности мы выявили высоко достоверное влияние фактора “задание” ($p < 0.0001-0.003$) и фактора “испытуемый” ($p < 0.0001-0.001$) на длительности фиксации при просмотре всех ДинС.

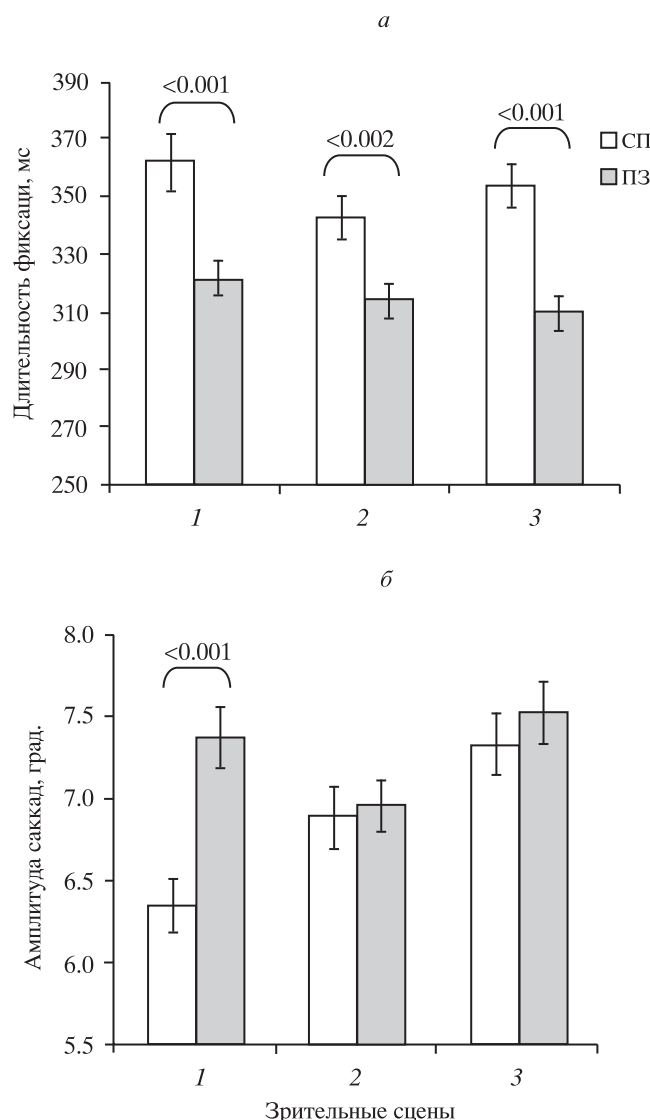


Рис. 2. Усредненные по всем испытуемым ($M \pm SEM$) длительности фиксаций (а) и амплитуды саккад (б) при свободном просмотре (СП) и просмотре с заданиями (ПЗ) всех статических зрительных сцен.

Числами указаны уровни значимости (p) различий параметров при двух режимах просмотра каждой сцены.

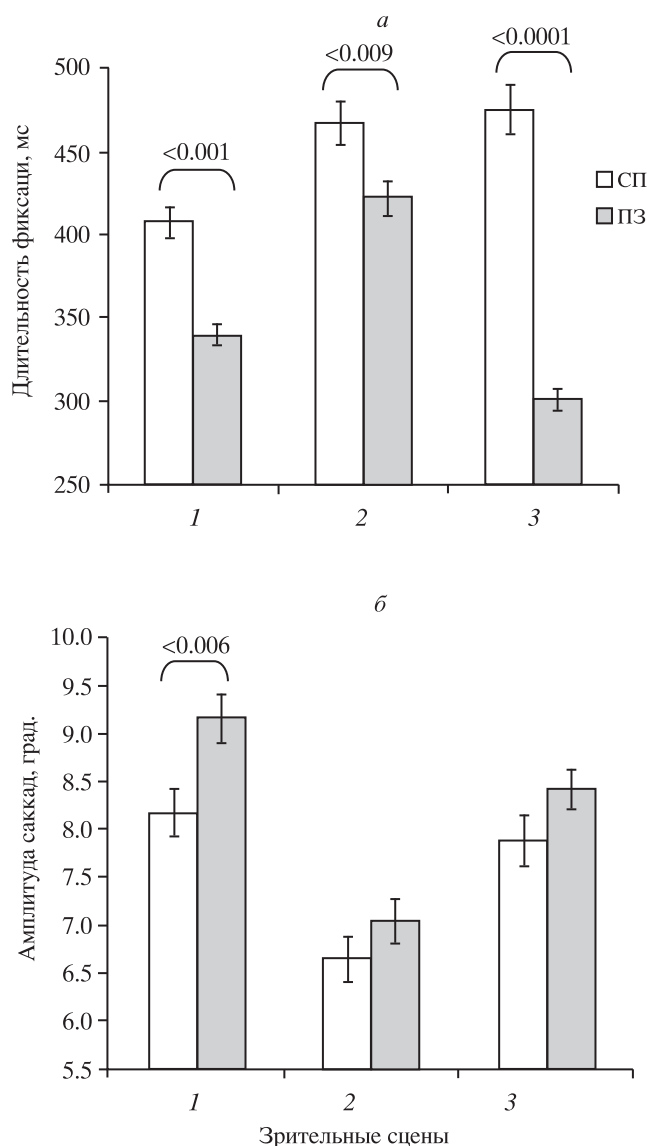


Рис. 3. Усредненные по всем испытуемым длительности фиксаций (а) и амплитуды саккад (б) при свободном просмотре и просмотре с заданиями всех динамических зрительных сцен.

Обозначения как на рис. 2.

Так же как и для СтС достоверное влияние фактора “задание” ($p < 0.008$) на амплитуду саккад показано только для ДинС 1 при достоверном влиянии фактора “испытуемый” ($p < 0.001-0.03$) для всех трех сцен.

Влияние типа задания на длительности фиксаций

Статические сцены. По двухфакторной модели дисперсионного анализа длительности фиксаций при СП всех СтС статистически не различались

(рис. 2, а, СП): влияние фактора “сцена” оказалось недостоверным ($F_{2,3092} = 1.57, p < 0.208$).

Такой же результат получен и при сравнении длительностей фиксаций при ПЗ всех СтС ($F_{2,3092} = 1.12, p < 0.328$), (рис. 2, а, ПЗ). В обоих случаях влияние фактора “испытуемый” (F_1) оказалось высоко достоверным ($p < 0.0001$). Мы провели также парные сравнения длительностей фиксаций по всем СтС между собой при СП и ПЗ и не выявили достоверных различий.

Таким образом, ни фактор “сцена” при СП всех СтС, ни фактор “тип задания” (в условиях нашего

протокола эксперимента этот фактор эквивалентен фактору “сцена”) при ПЗ всех СтС не оказывали влияния на длительность фиксаций.

Динамические сцены. По двухфакторной модели дисперсионного анализа длительности фиксаций при СП всех ДинС достоверно различались (рис. 4, а, СП): влияние фактора “сцена” оказалось высоко достоверным ($F_{2,2462} = 10.17$, $p < 0.0001$).

Также высоко достоверный результат получен и при сравнении длительностей фиксаций при ПЗ всех ДинС – влияние фактора “тип задания” оказалось высоко достоверным ($F_{2,3226} = 67.53$, $p < 0.0001$) (рис. 4, а, ПЗ). В обоих случаях влияние фактора “испытуемый” ($F1$) оказалось также высоко достоверным ($p < 0.0001$).

Мы провели парные сравнения длительностей фиксаций по всем ДинС между собой при СП (по сценам) и ПЗ (по заданиям) (рис. 4, а) и выявили высоко достоверные различия для всех пар сцен кроме одной (для сцен 2 и 3 при СП). Обращает на себя внимание большая вариативность средних длительностей фиксаций при разных заданиях (ПЗ) по сравнению с разными сценами (СП). Мы вычислили модули разностей между средними длительностями фиксаций для каждой из пар ДинС при СП (69, 68 и 7 мс) (рис. 4, а, СП) и при ПЗ (82, 29 и 121 мс) (рис. 4, а, ПЗ). Сумма разностей для ПЗ в 1.7 раза (232 против 136 мс) превышала таковую для СП, что свидетельствует о большей вариативности этого параметра в зависимости от типа задания. К тому же значение фактора $F2$ для СП составляло 10.17, а для ПЗ – 67.53 (см. выше), что свидетельствует о существенно большем влиянии фактора “тип задания” для ПЗ по сравнению с влиянием фактора “сцена” для СП.

Таким образом, каждое задание специфическим образом влияет на параметры движений глаз (рис. 4, а, ПЗ).

Влияние типа задания на амплитуды саккад

Статические сцены. По двухфакторной модели дисперсионного анализа амплитуды саккад при СП всех СтС достоверно различались (рис. 2, б, СП): влияние фактора “сцена” оказалось достоверным ($F_{2,3092} = 6.08$, $p < 0.002$). По результатам парных сравнений выявлены достоверные различия амплитуд саккад для СтС 1 по сравнению со сценами 2 ($p < 0.023$) и 3 ($p < 0.0001$). При этом

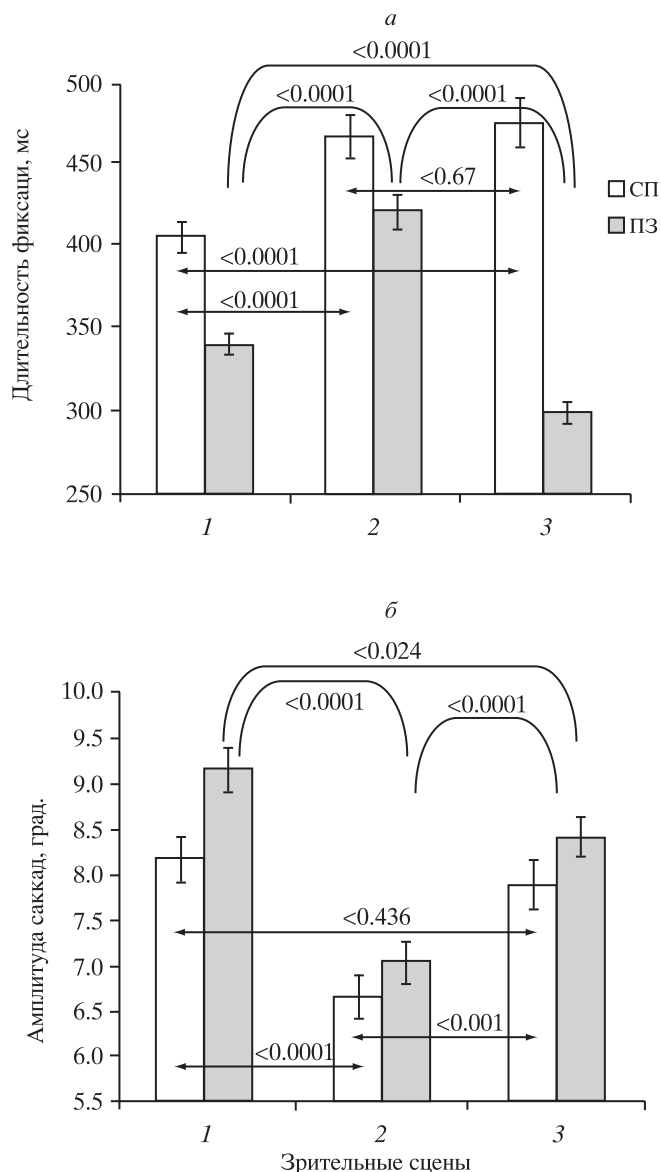


Рис. 4. Усредненные по всем испытуемым длительности фиксаций (а) и амплитуды саккад (б) при свободном просмотре и просмотре с заданиями для всех динамических зрительных сцен.

Числами указаны уровни значимости (p) различий параметров при свободном просмотре разных сцен (СП, сгруппированы горизонтальными стрелками) и при просмотре сцен с разными заданиями (ПЗ, сгруппированы дугами). Обозначения как на рис. 2.

для последних СтС различия выявлены только на уровне тенденции ($p < 0.091$).

Однако при ПЗ всех СтС влияние фактора “тип задания” на амплитуды саккад оказалось недостоверным ($F_{2,3092} = 1.88$, $p < 0.152$) (рис. 2, б, ПЗ). Тем не менее, достоверные парные различия выявлены между заданиями 2 (СтС 2) и 3 (СтС 3) ($p < 0.024$) и кваздостоверные – между задания-

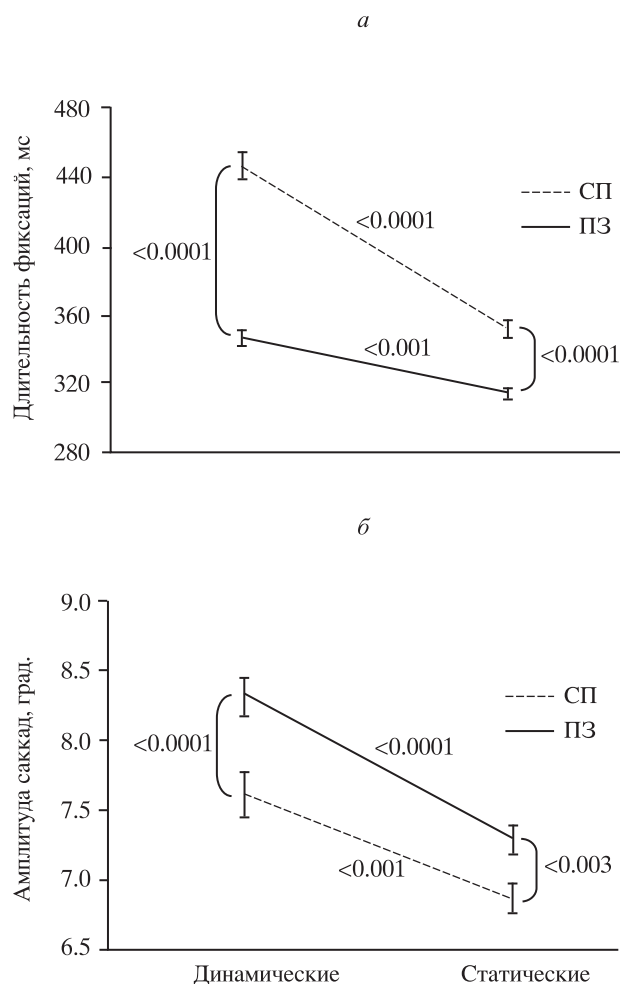


Рис. 5. Длительности фиксации (*а*) и амплитуды саккад (*б*) ($M \pm SEM$), усредненные по всем испытуемым и по разным режимам просмотра (свободном, СП, и с заданием, ПЗ) всех статических и динамических зрительных сцен.

Числами указаны уровни значимости достоверных различий между парами значений параметров.

ми 1 (СтС 1) и 2 (СтС 2) ($p < 0.09$). Как и при СП, так и для ПЗ влияние фактора “испытуемый” ($F1$) на амплитуду саккад оказалось высоко достоверным ($p < 0.0001$).

Таким образом, фактор “сцена” при СП всех СтС оказывал достоверное влияние на амплитуду саккад, при этом фактор “тип задания” при ПЗ не оказывал влияния на исследуемый параметр, и парные различия оказались достоверными только для одной из трех сравниваемых пар групп данных. Два режима просмотра по амплитудам саккад отличались только для СтС 1 (рис. 2, б), поэтому можно сделать вывод, что только задание 1 вызывало достоверное увеличение амплитуды саккад.

Динамические сцены. По двухфакторной модели дисперсионного анализа амплитуды саккад при СП всех ДинС достоверно различались (рис. 4, б, СП), что подтверждается высоко достоверным влиянием фактора “сцена” на этот параметр ($F_{2,2462} = 10.48$, $p < 0.0001$). Средняя амплитуда саккад при СП ДинС 2 достоверно отличалась от таковой при СП ДинС 1 и ДинС 3 при отсутствии достоверных различий между последними.

Также мы выявили высоко достоверное влияние фактора “тип задания” при сравнении амплитуд саккад при ПЗ всех ДинС ($F_{2,3226} = 18.10$, $p < 0.0001$) (рис. 4, б, ПЗ). Амплитуды саккад при задании 2 (ДинС 2) достоверно уменьшались по сравнению с заданиями 1 (ДинС 1) и 3 (ДинС 3), и различия между последними также были достоверными. При обоих режимах просмотра фактор “испытуемый” ($F1$) высоко достоверно ($p < 0.0001$) влиял на этот параметр.

Для каждой ДинС при СП и ПЗ отмечается сходное соотношение амплитуд саккад при двух режимах просмотра. Это означает, что сам процесс выполнения задания (независимо от инструкции) вызывает увеличение амплитуд саккад, а специфика (тип) задания не вносит дополнительного эффекта, и амплитуды саккад определяются скорее особенностями зрительной сцены.

Сравнение параметров движений глаз при различных режимах просмотра статических и динамических сцен. Мы провели сравнительный анализ параметров движений глаз в зависимости от режима просмотра (СП против ПЗ) и типа сцены (СтС против ДинС). По модели трехфакторного дисперсионного анализа мы выявили высоко достоверное влияние факторов “тип сцены” ($p < 0.0001$), “задание” ($p < 0.001$) и “испытуемый” ($p < 0.0001$) на длительности фиксации (рис. 5, а) и амплитуды саккад (рис. 5, б). Оба параметра оказались достоверно выше для ДинС при обоих режимах просмотра. При этом также отмечаются высоко достоверные различия параметров в зависимости от режима просмотра (СП против ПЗ) как для СтС, так и для ДинС.

ОБСУЖДЕНИЕ

Мы выявили значительное влияние когнитивной задачи на параметры движений глаз при просмотре зрительных сцен. Длительности фиксации при ПЗ оказались короче, а амплитуды саккад выше как для СтС, так и для ДинС (рис. 2, 3 и 5). Наши результаты согласуются с результатами аналогичных исследований по СтС (Pannasch et

al., 2008) и ДинС (Smith, Mital, 2013). Результаты по ДинС представляют особый интерес в связи с тем, что движения глаз при их просмотре стали изучать относительно недавно.

При ПЗ испытуемые чаще “посещали” взором периферические области зрительной сцены, чем при СП. Это нашло отражение в возросших амплитудах саккад, перемещающих взор в разные смысловые (в контексте инструкции) фрагменты зрительной сцены, а также в уменьшении длительностей фиксаций (рис. 5). При этом происходит так называемое глобальное сканирование зрительной сцены (Frost, Röppel, 1976), которое обеспечивает поиск определенных объектов в соответствии с заданной инструкцией. Необходимо отметить, что эффект влияния инструкции на параметры движений глаз состоял в достоверном укорочении фиксаций при выполнении всех заданий во время просмотра как СтС (рис. 2, а), так и ДинС (рис. 3, а). При этом также отмечалась тенденция к увеличению амплитуд саккад (рис. 2, б, 3, б). При суммировании данных по всем сценам (при СП) и заданиям (при ПЗ) увеличение амплитуд саккад оказалось высоко достоверным (рис. 5, б).

Из немногочисленных работ известно, что длительности фиксаций и амплитуды саккад при СП ДинС выше, чем при СП СтС (Dorr et al., 2010). Такие же соотношения параметров отмечают и при ПЗ как СтС, так и ДинС (Smith, Mital, 2013). Необходимо отметить, что в последней работе испытуемые выполняли только один вид задания (определить местность). Наши результаты соответствуют таковым из цитируемых источников, но в нашем исследовании мы продемонстрировали еще и разную степень влияния различных типов заданий на исследуемые параметры (рис. 2 и 3).

Однако в некоторых работах сообщается об отсутствии различий параметров фиксаций и саккад при СП видеороликов и их просмотре с выполнением зрительного поиска (Taya et al., 2012), результаты которой свидетельствовали о том, что основную роль при просмотре ДинС играют активизирующие восходящее (*bottom-up*) внимание факторы – движение объектов и мерцание (Itti, 2005). В нашем исследовании мы выбрали такие ДинС, при просмотре которых для выполнения задания испытуемые, предположительно, сосредотачивали внимание главным образом на статических объектах (зданиях и предметах интерьера) и скорее игнорировали движущиеся объекты, что заметно снижает влияние восходящего внимания при просмотре и усиливает эффекты нисходяще-

го внимания. Некоторые различия в результатах подобных исследований, вероятно, определяются как особенностями зрительного материала, так и спецификой задачи (инструкции).

При рассматривании СтС выделяют две моды зрения – АМ и ФМ (Unema et al., 2005; Velichkovsky et al., 2005), которые связаны с процессом двухуровневой обработки зрительной информации, соответственно, в дорзальном и вентральном потоках зрительной системы приматов (Ungerleider, Mishkin, 1982). Такое соотношение между параметрами фиксаций и саккад отражает перераспределение процессов восходящего и нисходящего зрительного внимания (Unema et al., 2005; Velichkovsky et al., 2005; Follet et al., 2011; Petersen, Posner, 2012) и имеет под собой фундаментальную нейрофизиологическую основу (Ungerleider, Mishkin, 1982).

Параметры движений глаз при просмотре СтС зависят от низкоуровневых факторов, формирующих их пространственную неоднородность (модель неоднородности изображения) (Itti, Koch, 2000; Le Meur et al., 2006). При просмотре ДинС к пространственной неоднородности добавляется еще и временная, обусловленная движением объектов (модель динамической карты неоднородностей) (Le Meur et al., 2007). При просмотре ДинС АМ обеспечивает также восприятие направления и скорости движения зрительных объектов (Le Meur et al., 2007). Пространственно-временная неоднородность ДинС при их просмотре приводит к увеличению длительностей фиксаций по сравнению с навигацией по СтС (рис. 2, а, 3, и 5, а), поскольку при этом зрительная система испытывает дополнительную нагрузку по анализу динамических свойств объектов. Кроме того, увеличение длительностей фиксаций можно объяснить также дополнительным включением кратковременных фрагментов плавного прослеживания динамического объекта. Функционально такой фрагмент составляет часть фиксации, которую Б.М. Величковский с соавторами (Velichkovsky et al., 2002) назвали “динамической фиксацией”. В свою очередь увеличение амплитуд саккад (рис. 2, б, 3, б и 5, б), по-видимому, можно объяснить необходимостью корректировки пространственной карты расположения объектов и их взаимной композиции.

Высокоуровневые факторы при выполнении определенных когнитивных задач (например, зрительный поиск) создают своеобразную “семантическую” неоднородность (Henderson, Pierce, 2006; Pannasch et al., 2008; Mills et al., 2011). При свободном просмотре СтС АМ функционирует пре-

имущественно только в первые несколько секунд, а затем сменяется ФМ (Antes, 1974; Unema et al., 2005; Velichkovsky et al., 2005). При выполнении когнитивных задач зрительная система постоянно “переключается” в АМ с целью сканирования пространства, что приводит к увеличению доли коротких фиксаций и, следовательно, к уменьшению их средней длительности (рис. 2, *а*, 3, *а* и 5, *а*). При этом увеличение доли высокоамплитудных саккад при переключении в АМ приводит к увеличению их средних амплитуд (рис. 2, *б*, 3, *б* и 5, *б*). По мнению Т. Смита и П. Митала (Smith, Mital, 2013), движение также является высокоуровневым фактором, поскольку оно придает некоторую семантическую значимость движущемуся объекту при просмотре ДинС. Такая дополнительная динамическая семантическая нагрузка приводит к увеличению как длительностей фиксаций, так и амплитуд саккад (рис. 5). Кроме того, движущиеся объекты постоянно добавляют влияние низкоуровневых факторов, которые неизбежно накладываются на процессы распознавания объектов при выполнении задания. Не исключено, что в этом случае для компенсации таких влияний включаются механизмы подавления “не-нужных” саккад, которые могут быть причиной удлинения фиксаций (Reingold, Glaholt, 2014).

Вместе с тем нам удалось выявить влияние типа задания на параметры движений глаз при просмотре ДинС (рис. 4). Особенно явно это выразилось в значительном уменьшении длительностей фиксаций во время ПЗ ДинС 3 по сравнению с другими ДинС (рис. 4, *а*, ПЗ). По-видимому, это можно объяснить тем, что для выполнения подсчета объектов нужно получить и обработать меньшее количество информации, чем для более сложного когнитивного задания по распознаванию города и определения исторической эпохи.

Однако влияния типа задания на длительности фиксаций при просмотре СтС в нашей работе выявлено не было. Подобные результаты были получены также и в работе М. ДеАнгелуз и Дж. Пелца (DeAngelus, Pelz, 2009). В этом исследовании на 25 испытуемых авторы воспроизвели эксперимент А.Л. Ярбуса (1961), в котором участвовал только один испытуемый, с использованием того же материала и тех же инструкций. Оказалось, что только часть испытуемых продемонстрировала траектории, сходные с теми, которые показаны в работе А.Л. Ярбуса, а у других такого сходства треков выявлено не было. В целом по группе испытуемых им не удалось выявить статистически достоверной зависимости формы траекторий движений глаз от заданий (инструкций). В этой же

работе при анализе длительностей фиксаций авторы не выявили вариаций этого параметра в зависимости от когнитивного задания. Можно предположить, что отсутствие достоверных различий длительностей фиксаций при разных зрительных задачах свидетельствует о единой глазодвигательной стратегии при поиске и распознавании зрительных объектов статической зрительной сцены во время выполнения любого задания, и в этих условиях выраженность (соотношение) АМ и ФМ остается относительно постоянной.

Необходимо отметить, что, как и в процитированной выше работе (DeAngelus, Pelz, 2009), мы проводили оценку параметров по всей группе испытуемых. Не исключено, что при разделении их на группы можно получить дополнительные данные, и это может быть предметом будущих исследований.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты нашего исследования продемонстрировали, что тип зрительной сцены существенно влияет на параметры движений глаз: динамические объекты в поле зрения вызывают увеличение длительностей фиксаций и амплитуд саккад. Также мы показали влияние когнитивной нагрузки, задаваемой наблюдателю инструкцией, на параметры движений глаз при просмотре как СтС, так и ДинС. Такое влияние зависит как от особенностей выполняемой когнитивной задачи, так и от типа зрительной сцены: при выполнении разных когнитивных заданий при просмотре ДинС параметры движений глаз статистически достоверно варьировали, а при просмотре СтС влияние разных заданий на исследуемые параметры оказалось недостоверным.

Особенности параметров движений глаз при различных режимах просмотра (СП против ПЗ) для разных типов сцен (СтС против ДинС) определяются выраженностью двух мод зрения (АМ и ФМ). Соотношение периодов функционирования этих мод зрения тесным образом связано с механизмами зрительного внимания (восходящего и нисходящего), обеспечивающих различную зрительную деятельность испытуемых. В свою очередь вовлечение определенных механизмов внимания определяется спецификой зрительной задачи – ее отсутствием (свободный просмотр) или выполнением когнитивной деятельности (просмотр с заданием).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анисимов В.А., Федорова О.В., Латанов А.В. Параметры движений глаз при чтении предложений с синтаксической неоднозначностью в русском языке // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 4. С. 57–68. (Anisimov V.A., Fedorova O.V., Latanov A.V. Eye movement parameters in reading sentences with syntactic ambiguities in russian // Human Physiology. 2014. V. 40 (5). P. 57–68 [in Russian]).
- Ермаченко Н.С., Ермаченко А.А., Латанов А.В. Интеграция видеоокулографии и электроэнцефалографии для исследования зрительного селективного внимания у человека // Журн. высш. нервн. деят. им. И.П. Павлова. 2011. Т. 61. № 5. С. 631–640. (Ermachenko N.S., Ermachenko A.A., Latanov A.V. Integration of videooculography and encephalography for investigation of visual selective attention in humans // Zh. Vyssh. Nerv. Deiat. Im. I. P. Pavlova. 2011. V. 61 (5). P. 631–640 [in Russian]).
- Ярбус А.Л. Движения глаз при рассматривании сложных объектов // Биофизика. 1961. Т. 6. № 2. С. 207–212. (Yarbus A.L. Eye movements during examination of complex objects // Biofizika. 1961. V. 6 (2). P. 207–212 [in Russian]).
- Antes J. Time course of picture viewing // J. Exp. Psychol. 1974. V. 103 (1). P. 62–70.
- Borji A., Itti L. Defending Yarbus: Eye movements reveal observers' task // J. Vis. 2014. V. 14 (3). P. 1–22.
- Corbetta M., Akbudak E., Conturo T.E., Snyder A.Z., Ollinger J.M., Drury H.A., Linenweber M.R., Petersen S.E., Raichle M.E., Van Essen D.C., Shulman G.L. A common network of functional areas for attention and eye movements // Neuron. 1998. V. 21 (4). P. 761–773.
- DeAngelus M., Pelz J.B. Top-down control of eye movements: Yarbus revisited // Vis. Cogn. 2009. V. 17 (6–7). P. 790–811.
- Deubel H., Schneider W.X. Saccade target selection and object recognition: evidence for a common attentional mechanism // Vision Res. 1996. V. 36 (12). P. 1827–1837.
- Dorr M., Martinetz T., Gegenfurtner K., Barth E. Variability of eye movements when viewing dynamic natural scenes // J. Vis. 2010. V. 10 (10). P. 1–17.
- Follet B., Le Meur O., Baccino T. New insights into ambient and focal visual fixations using an automatic classification algorithm // i-Perception. 2011. V. 2. P. 592–610.
- Frost D., Pöppel E. Different programming modes of human saccadic eye-movements as a function of stimulus eccentricity – indications of a functional subdivision of visual field // Biol. Cybern. 1976. V. 23 (1). P. 39–48.
- Goodale M.A., Milner A.D., Jakobson L.S., Carey D.P. A neurological dissociation between perceiving objects and grasping them // Nature. 1991. V. 349 (6305). P. 154–156.
- Henderson J.M., Nuthmann A., Luke S.G. Eye movement control during scene viewing: immediate effects of scene luminance on fixation durations // J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform. 2013. V. 39 (2). P. 318–322.
- Henderson J.M., Pierce G. Direct control of fixation durations during active scene perception // Vis. Cogn. 2006. V. 15. P. 108–112.
- Itti L., Koch C. A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention // Vision. Res. 2000. V. 40 (10). P. 1489–1506.
- Itti L. Quantifying the contribution of lowlevel saliency to human eye movements in dynamic scenes // Vis. Cogn. 2005. V. 12. P. 1093–1123.
- Kanan Ch., Ray N.A., Bseiso D.N.F., Hsiao J.H., Cottrell G.W. Predicting an observer's task using multi-fixation pattern analysis // Proceedings of the symposium on eye tracking research and applications // Association for Computing Machinery: NY. 2014. P. 287–290.
- Le Meur O., Le Callet P., Barba D. Predicting visual fixations on video based on low-level visual features // Vision Res. 2007. V. 47 (19). P. 2483–2498.
- Le Meur O., Le Callet P., Barba D., Thoreau D. A coherent computational approach to model the bottom-up visual attention // IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence (PAMI). 2006. V. 28 (5). P. 802–817.
- Loftus G.R. Picture perception: effects of luminance on available information and information-extraction rate // J. Exp. Psychol. Gen. 1985. V. 114 (3). P. 342–356.
- Mills M., Van der Stigchel S., Hollingworth A., Hoffman L., Dodd M. Examining the influence of task-set on eye movements and fixations // J. Vis. 2011. V. 11 (8). P. 1–15.
- Pannasch S., Helmert J., Roth K., Herbold A., Walter H. Visual fixation durations and saccade amplitudes: shifting relationship in a variety of conditions // J. Eye Mov. Res. 2008. V. 2 (2). P. 1–19.
- Petersen S., Posner M. The attention system of the human brain: 20 years after // Ann. Rev. Neurosci. 2012. No 35. P. 73–89.
- Reingold E.M., Glaholt M.G. Cognitive control of fixation duration in visual search: The role of extrafoveal processing // Vis. Cogn. 2014. V. 22 (3–4). P. 610–634.
- Rizzolatti G., Luppino G. The cortical motor system // Neuron. 2001. V. 31 (6). P. 889–901.
- Rizzolatti G., Riggio L., Sheliga B.M. Space and selective attention // Attention and Performance / Eds C. Umiltà, V. Moscovitch. Cambridge, MA. MIT Press, 1994. Ch. XV. P. 231–265.

- Sheliga B.M., Riggio L., Rizzolatti G.* Spatial attention and eye movements // *Exp. Brain Res.* 1995. V. 105 (2). P. 261–275.
- Smith T., Mital P.* Attentional synchrony and the influence of viewing task on gaze behavior in static and dynamic scenes // *J. Vis.* 2013. V. 13 (8). P. 1–24.
- Tatler B., Vincent B.* Systematic tendencies in scene viewing // *J. Eye Mov. Res.* 2008. V. 2 (2). P. 1–18.
- Taya S., Windridge D., Osman M.* Looking to score: The dissociation of goal influence on eye movement and meta-attentional allocation in a complex dynamic natural scene // *PLoS One*. 2012. V. 7. P. 23–41.
- Unema P., Pannasch S., Joos M., Velichkovsky B.* Time course of information processing during scene perception: The relationship between saccade amplitude and fixation duration // *Vis. Cogn.* 2005. V. 12. (3). P. 473–494.
- Ungerleider L., Mishkin M.* Two cortical visual systems // *Analysis of visual behavior*/ Eds J. Ingle, M. Goodale, R. Mansfield. Cambridge, MA. MIT Press, 1982. P. 549–586.
- Velichkovsky B., Joos M., Helmert J., Pannasch S.* Two visual systems and their eye movements: Evidence from static and dynamic scene perception // *Proc. XXVII Conf. Cogn. Sci. Society* / Eds B. Bara, L. Barsalou, M. Bucciarelli. NY. Lawrence Erlbaum, 2005. P. 2283–2288.
- Velichkovsky B., Rothert A., Kopf M., Dornhoefer S., Joos M.* Towards an express diagnostics for level of processing and hazard perception // *Transportation Res. Part F*. 2002. V. 5 (2). P. 145–156.

Eye movement parameters are influenced by cognitive task in viewing of static and dynamic scenes

M. A. Shurupova, V. N. Anisimov, L. V. Tereshchenko, A. V. Latanov

Lomonosov Moscow State University, GSP-1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russian Federation

We conducted a comparative study of eye movement parameters in humans while viewing static and dynamic scenes in different conditions – free viewing and visual cognitive task. The patterns of visual activity considerably influence the eye movement parameters: in cognitive task performance fixation durations were shorter and saccadic amplitudes were larger when viewing both static and dynamic scenes. Longer fixation durations and larger saccadic amplitudes are observed in viewing dynamic scenes compared to viewing static scenes. Fixation durations vary considerably depending on the task while viewing dynamic scenes and almost do not depend on the task when viewing static scenes. Only the type of the visual scene (static and dynamic) but not the kind of visual activity (free viewing and task performance) determines saccadic amplitudes. The dynamics of eye movement parameters revealed in our study are determined by the balance of two visual modes (ambient and focal) with different types of visual activity.

Key words: eye movements, visual modes, static visual scene, dynamic visual scene, visual task, attention, saccades, fixations.