

Научный обзор

УДК 159.91

<https://doi.org/10.21702/rpj.2024.1.2>

Использование системы мобильного айттрекинга в спортивной практике

Анастасия А. Якушина* , Наталья И. Булаева , Сергей В. Леонов ,
Ирина С. Поликанова , Виктор А. Клименко 

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация

*Почта ответственного автора: anastasia.ya.au@yandex.ru

Аннотация

Введение. Изучение глазодвигательной активности спортсменов представляет несомненный интерес для спортивных психологов и специалистов по спортивной подготовке. Глазодвигательная активность является неотъемлемой частью спортивной деятельности, и ее тренировка и оптимизация с выработкой эффективных глазодвигательных стратегий может способствовать улучшению как спортивных результатов, так и здоровья и функционального состояния спортсмена.

Теоретическое обоснование. В исследованиях глазодвигательной активности спортсменов рассматриваются различные ее аспекты, в частности, зрительный поиск, различие движений глаз профессионалов и новичков, связь эффективных глазодвигательных стратегий и успешности спортивной деятельности. В связи с развитием технологий появилась технология мобильного айттрекинга, которую можно использовать в условиях реальной спортивной деятельности. Среди преимуществ мобильного айттрекинга – возможность обеспечения высокой экологической валидности исследований, совмещение с психофизиологическими методами и виртуальной реальностью. К недостаткам мобильной системы айттрекинга можно отнести низкую, по сравнению со стационарными системами, точность измерения и возможность регистрации только макродвижений глаз (фиксаций и саккад). **Обсуждение результатов.** В результате проведенного теоретического анализа были обозначены актуальность и значимость изучения

глазодвигательных паттернов спортсменов, а также описаны возможности использования для этих целей мобильного айтрекинга в спорте для анализа глазодвигательных паттернов спортсменов. Выделен ряд возможных проблем, с которыми могут столкнуться исследователи во время использования мобильных систем айтрекинга для регистрации глазодвигательных паттернов спортсменов. В частности, потеря данных айтрекинга, трудности выбора оптимального алгоритма анализа данных и неоднозначность интерпретации полученной информации. Однако несмотря на описанные проблемы, на данный момент Мобильные системы айтрекинга представляют собой оптимальный метод регистрации движения глаз спортсменов для дальнейшей оптимизации тренировочного процесса и повышения эффективности деятельности.

Ключевые слова

психология спорта, айтрекинг, регистрация движений глаз, макродвижения глаз, саккады, фиксации, айтрекинг в спорте

Финансирование

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ №19-78-10134

Для цитирования

Якушина, А. А., Булаева, Н. И., Леонов, С. В., Поликанова, И. С., Клименко, В. А. (2024). Использование системы мобильного айтрекинга в спортивной практике. *Российский психологический журнал*, 21(1), 34–46. <https://doi.org/10.21702/rpj.2024.1.2>

Введение

Зрение играет большую роль на всех этапах и уровнях деятельности спортсмена. Во время обучения и подготовки спортсмен усваивает наглядно предоставляемую тренером информацию (Горовая, Коробейникова, 2013). В процессе тренировки оттачивается умение быстро анализировать спортивную ситуацию и принимать оптимальные технико-тактические решения на основе имеющейся зрительной информации (Hüttermann, Noël & Memmert, 2018; Brams et al., 2019). Во время выработки двигательных навыков зрительная информация имеет большое значение для управления движениями и их корректировки (Piras, Raffi, Lanzoni, Persiani & Squatrito, 2015). С опытом спортсменом приобретает умение предвидения (антиципации) развития хода событий в ситуации дефицита времени на основе имеющейся зрительной информации (Kredel, Vater, Klostermann & Hossner, 2017). Принятие спортсменом конкретного тактического решения в возникшей спортивной

ситуации базируется на информации, получаемой от сенсорных систем, и чаще всего ведущей из них становится зрительная система (Hüttermann et al., 2018).

На протяжении многих лет зрение в спорте изучалось с позиций различных наук, в том числе офтальмологии, психологии, физиологии, биомеханики (Блинникова, Ишмуратова, 2021; Меньшикова, Пичугина, 2021; Пронина, Григорян, Каплан, 2018; Смирнова, 2022). При этом с одной стороны отмечалась несомненная важность для спортсмена зрения как сенсорной системы, но с другой стороны многие из исследований носили частный, разрозненный, изолированный характер (Тамбовский, 2003). Научные работы о применении технологий айтрекинга в спорте начали появляться еще в 1980-х годах. С тех пор было проведено множество исследований глазодвигательной активности спортсменов с использованием разных технологий айтрекинга. В этих исследованиях рассматривались такие аспекты глазодвигательной активности, как зрительное внимание, зрительный поиск, принятие решения на основе зрительной информации, различие движений глаз профессионалов и непрофессионалов, связь эффективных глазодвигательных стратегий и успешности спортивной деятельности (Mann, Williams, Ward & Janelle, 2007; Hüttermann, Noël & Memmert, 2018; Kredel, Vater, Klostermann & Hossner, 2017).

В отечественной спортивной науке необходимость комплексного подхода к изучению зрительной системы в спорте была заявлена в девяностых годах прошлого века, когда были заложены основы направления спортивной офтальмологии в системе подготовки спортсменов. В связи с этим была разработана система анализа и оптимизации глазодвигательных паттернов спортсменов для совершенствования технико-тактического мастерства (Тамбовский, 2003). Первые попытки уточнить характер работы зрения спортсмена выявили существование визиокинематических картин спортивной ситуации (ВККСС), которые являются определенными траекториями движений глаз спортсмена при визуальном восприятии картины спортивной ситуации. ВККСС формируется согласованной работой глазных и цилиарной мышц и зависит от вида спорта, уровня подготовленности спортсмена, его психологического состояния, опыта, амплуа, уровня и особенностей мышления. Однако параметры ВККСС часто бывают далеки от оптимальных, что влечёт за собой целый ряд ошибок, совершаемых спортсменом. Причину этого можно объяснить интуитивностью формирования ВККСС, минимальными знаниями в этой области и тренера, и его воспитанника (Тамбовский, 2003).

Обучение спортсменов оптимальной глазодвигательной стратегии (оптимальной визиокинематике) во время выполнения спортивной деятельности приводит к уменьшению утомляемости зрительной системы, к повышению эффективности технико-тактических действий, к повышению скорости и эффективности тактического мышления спортсменов (Тамбовский, 2003; Цзинь, Тамбовский, 2017; Поликанова, Леонов, Якушина, Чертополохов, Исаев, 2022). С ростом спортивного мастерства спортсмена (при всей вариативности спортивных ситуаций) наблюдается формирование нескольких (от 2 до 5 вариантов) устойчивых визиокинематических

картин спортивной ситуации. Важно отметить, что эффективность такого обучения будет выше, если оно будет проходить в естественных, динамических условиях спортивной деятельности. В связи с этим особенно актуальным представляется использование современных систем айтрекинга, которые позволяют регистрировать данные движения глаз в условиях реальной тренировки.

Так, основной **целью** данного обзора выступил анализ преимуществ и недостатков применения современных систем айтрекинга для анализа глазодвигательных паттернов спортсменов.

Теоретическое обоснование

Использование современных систем айтрекинга в спорте

Большие возможности для изучения особенностей глазодвигательной активности спортсменов при выполнении спортивной деятельности предоставляют современные системы айтрекинга (Грушко, Леонов, 2013; Espino Palma et al., 2023; Sáenz-Moncaleano, Basevitch & Tenenbaum, 2018; Menshikova, Kovalev, Klimova & Varabanschikova, 2017). Широкое применение в системе спортивной подготовки нашли мобильные айтрекеры, имеющие ряд преимуществ перед стационарными, и позволяющие проводить исследования в естественных условиях.

В основе работы современных бесконтактных мобильных, то есть надеваемых на голову, системах айтрекинга, лежит методика, основанная на принципе видеорегистрации движений глаз в инфракрасном диапазоне излучения и определения направления взгляда по вектору смещения между центрами зрачка и роговичного блика (Барабанщиков, Жегалло, 2014).

Мобильные системы айтрекинга, используемые для исследования глазодвигательной активности спортсменов, можно разделить на два вида:

1. Системы айтрекинга, надеваемые на голову испытуемого (как правило, в виде очков или шапочек). Они состоят из мини-видеокамеры, которая фиксирует реальную обстановку перед испытуемым, и источника инфракрасного излучения.
2. Системы айтрекинга, встроенные в шлемы виртуальной реальности (Леонов, Поликанова, Булаева, Клименко, 2020). В шлемах виртуальной реальности модуль слежения за глазами обычно состоит из камер и источника света, размещенных в кольцеобразной конструкции между глазами пользователя и дисплеем. Алгоритмы интерпретируют данные с камер и формируют поток данных айтрекинга в реальном времени (таких как размер зрачка, вектор взгляда и открытость глаз).

Возможности мобильных систем айтрекинга

Причины выбора мобильных систем айтрекинга для исследований в спорте связаны с рядом их возможностей и преимуществ перед стационарными системами.

Так, мобильные системы айтрекинга позволяют достичь высокой степени экологической валидности эксперимента: сделать условия эксперимента максимально приближенными к условиям изучаемой спортивной деятельности (Тамбовский, 2003; Барабанщиков, Жегалло, 2014; Горовая, Коробейникова, 2013). Также мобильные системы айтрекинга (особенно, в виде очков) оказывают минимальное влияние на исследуемую деятельность спортсмена и на регистрируемые параметры глазодвигательной активности. Во время выполнения спортивно-специфических задач испытуемый должен иметь возможность свободно двигаться в пространстве, в том числе двигать головой, что возможно только при использовании мобильных систем айтрекинга (Тамбовский, 2003). Полученные данные айтрекинга дают возможность проводить анализ и сравнение особенностей глазодвигательной активности спортсменов разных видов спорта и разного уровня квалификации (Леонов, Грушко, 2015). Так, на основании данных, регистрируемых с помощью системы айтрекинга, были выделены характерные паттерны движения глаз у профессиональных бейсболистов (Houze, Spaniol & Paulison, 2023), выявлены различия в количестве и месте фиксации среди волейболистов различной квалификации (Afonso, Garganta, McRobert, Williams & Mesquita, 2012), а также отмечены различные точки фиксации взгляда у футболистов в зависимости от фазы игры (Aksum, Magnaguagno, Vjørndal & Jordet, 2020). Полученные данные позволяют проводить оптимизацию глазодвигательной активности для уменьшения утомляемости зрительной системы, повышения эффективности технико-тактических действий и улучшению тактического мышления спортсмена (Тамбовский, 2003; McGuckian, Cole, Jordet, Chalkley & Pepping, 2018; Kredel et al., 2017; Martell & Vickers, 2004)

Благодаря мобильным системам айтрекинга фиксацию глазодвигательной активности спортсменов можно совмещать с регистрацией различных психофизиологических показателей, в том числе электроэнцефалографией, кожно-гальванической реакцией, измерением частоты сердечных сокращений биологической обратной связью, устойчивостью вестибулярной системы (Анисимов, Ермаченко, Ермаченко, Терещенко, Латанов, 2012; Ермаченко, Ермаченко, Латанов, 2011; Исаев, Исайчев, 2015; Calabrò et al., 2017; Janelle, Hillman & Apparies, 2000; Fujiwara et al., 2009; Mann, Coombes, Mousseau & Janelle, 2011; Barfoot, Casey & Callaway, 2012). Кроме того, мобильные системы айтрекинга можно использовать при проведении исследований в системе виртуальной реальности (Menshikova, Kovalev & Klimova, 2014; Pastel et al., 2020; Wirth et al., 2021; Heilmann & Witte, 2021) и отслеживании движений человека в пространстве (Helsen & Starkes, 1999; Kishita, Ueda & Kashino, 2020).

Ограничения мобильных систем айтрекинга

Однако несмотря на большое количество преимуществ использования мобильной системы айтрекинга в спортивной практике, можно выделить и ряд ограничений.

Так, в исследованиях с использованием мобильных систем айтрекинга глазодвигательная активность анализируется по таким показателям как фиксации и саккады, то есть макродвижения глаз (Piras, Lobietti & Squatrito, 2010; Di Russo, Pitzalis & Spinelli, 2003; Aoyama et al., 2022). Это связано с тем, что мобильные системы айтрекинга имеют определенные ограничения, а эксперименты проводятся в условиях, приближенных к реальным. Исследование микродвижений глаз (тремора, дрейфа, микросаккад) возможно только в стационарных условиях, в лаборатории, где голова испытуемого жестко фиксирована во время эксперимента, и оборудование обладает высокой частотой и точностью регистрации положения глаз. Кроме того, мобильные системы айтрекинга обладают низкими по сравнению со стационарными системами временным и пространственным разрешением. Данные, полученные с помощью мобильной системы айтрекинга, позволяют провести анализ глазодвигательной активности только на уровне последовательности фиксаций.

Также стоит отметить, что мобильные системы айтрекинга обладают низкими, по сравнению со стационарными системами, точностью измерения, временной (частота регистрации) и пространственной разрешающими способностями, заявленными производителем. Средняя частота видеорегистрации мобильных систем айтрекинга – 30–60 Гц (стационарных систем – 500–1250 Гц). У большинства современных айтрекеров точность составляет порядка 0,5–1 угловой градус (стационарных – 0,25 – 0,5 угловых градусов) (Барабанщиков, Жегалло, 2014).

Кроме того, качество и стабильность регистрации движений глаз зависят от различных факторов: освещенности помещения, макияжа, ношения очков (Барабанщиков, Жегалло, 2014; Holmqvist, Nyström & Mulvey, 2012), а также индивидуальных особенностей лица (например, густых ресниц или больших надбровных дуг (Турицын, Анохин, Воловод, Герасимчук, Машковцева, 2016). На качество данных, получаемых от систем айтрекинга, встроенных в шлем виртуальной реальности, могут влиять такие явления, как укачивание (головокружение), утомление мышц шеи от шлема, зрительный конфликт фокус-аккомодации, потеря фокуса, запотевание экранов шлема (Clay, 2019; Holmqvist et al., 2012).

Обсуждение результатов

Для минимизации указанных выше недостатков и повышения качества записи глазодвигательных паттернов спортсменов на этапе подготовки и проведения регистрации движения глаз необходимо перед каждым измерением калибровать айтрекер, устанавливать положение трекеров относительно глаз правильно и следить за стабильностью положения участника эксперимента.

Однако сложности могут возникать не только на этапе регистрации данных айтрекинга, но и при их анализе.

Проблемы, возникающие на этапе получения данных айтрекинга, и пути их решения

Проблема потери данных айтрекинга

В результате моргания испытуемого или вследствие сбоя алгоритма определения зрачка и роговичного блика могут возникать пропуски значений айтрекинга, то есть кадры с неопределенным положением глаз и неустановленным направлением взгляда. При этом все поля, относящиеся к глазам (координаты взгляда, размеры зрачков и др.), заполнены нулями. Пропущенные значения могут влиять на алгоритм детекции фиксаций, разбивая одну большую фиксацию на отдельные фиксации меньшей длительности. Для решения данной проблемы могут применяться различные методы, включающие математические и эмпирические алгоритмы восстановления данных (Турицын и соавт., 2016). Также айтрекер может терять из вида один из двух глаз и данные при этом пишутся только с одного глаза. При небольшой величине бинокулярной диспаратности допустимо заполнить пропуски данными зарегистрированного глаза (Турицын и соавт., 2016).

Выбор алгоритма и пороговых значений для детекции искомых событий (фиксаций, саккад)

Выбор алгоритма детекции событий (фиксаций и саккад) является важным моментом при анализе сырых данных айтрекинга, так как разные алгоритмы на основе одних и тех же данных могут давать на выходе разные результаты (Salvucci & Goldberg, 2000). Кроме того, выбор пороговых значений величин, используемых тем или иным алгоритмом, также влияет на чувствительность и на результаты работы алгоритма (Llanes-Jurado, Marín-Morales, Guixeres & Alcañiz, 2020).

Анализ фиксаций и саккад требует предварительного выделения фиксаций как моментов обработки зрительной информации (и, соответственно, саккад между ними как моментов быстрого перемещения взгляда, когда обработка информации не происходит) из массива сырых данных (Веракса, Коробейникова, Леонов, Рассказова, 2016; Грушко, 2017). Такой подход позволяет упростить анализ данных айтрекинга, выделив их основные характеристики, на основе которых можно проводить анализ глазодвигательного поведения (Salvucci & Goldberg, 2000). Выбор конкретных пороговых значений напрямую зависит от целей и задач исследования и от характера изучаемой деятельности (например, значения для чтения или рассматривания картин будут одни, а для обнаружения и реагирования на быстро перемещающийся объект – другие) (Widdel, 1984, Rayner, 1998).

Проблема интерпретации полученной информации о глазодвигательной активности испытуемого

Для верной интерпретации полученных данных о глазодвигательной активности испытуемого необходима дополнительная информация. Не всегда задержка взора в направлении какого-либо объекта говорит о фиксации внимания на этом объекте, а саккада может быть вызвана не зрительным, а слуховым стимулом и т. п. Опрос испытуемого, видеозапись эксперимента, сбор статистики могут дать дополнительную информацию для экспериментатора.

Необходимо изучение глазодвигательной активности на более высоком уровне – уровне целостных структур, паттернов, которые определяются не только объективными характеристиками внешних стимулов, но и характеристиками самого субъекта восприятия (его прошлым опытом, намерениями, особенностями глазодвигательной системы и пр.). Это связано с тем, что достаточно часто в исследованиях используется такой показатель, как число фиксаций в выделенной области, который связан с рядом когнитивных аспектов и может интерпретироваться по-разному: число фиксаций может свидетельствовать 1) о семантической значимости области изображения, 2) об уровне сложности поисковой задачи, 3) о наличии опыта решения подобных задач, и даже 4) о наличии ряда психиатрических и нейрофизиологических заболеваний.

Для совершенствования системы айтрекинга в спортивной практике необходимо подробное описание процедуры проведения исследования: спецификация оборудования, алгоритм, пороговые значения, критерии исключения данных из анализа, подход к обработке пропусков («нулевых» значений), процент отбракованных данных айтрекинга, подробные интерпретации полученных данных, учитывающих специфику проведенного эксперимента и особенности выборки.

Заключение

Таким образом, несмотря на некоторые ограничения использования мобильной системы айтрекинга в спорте, отслеживание взора представляется возможным методом исследования поведения взгляда спортсменов при условии его осмысленного и корректного использования. В частности, работа с мобильными системами айтрекинга является перспективным способом анализа когнитивных аспектов профессионального мастерства спортсменов и ее влияния на результативность. Система айтрекинга позволяет получить сведения об особенностях внимания спортсменов и направлении взгляда на различных этапах формирования спортивного мастерства. Это дает возможность выделить характерные паттерны движения глаз у новичков и профессионалов, что может помочь в совершенствовании технико-тактической составляющей навыка и управлении движениями. Учет этих моментов потенциально позволяет разработать специфические методы тренировки и улучшить соревновательные результаты.

Литература

- Анисимов, В. Н., Ермаченко, Н. С., Ермаченко, А. А., Терещенко, Л. В., Латанов, А. В. (2012). Экспериментальный комплекс для одновременной регистрации движений глаз и электроэнцефалограммы. *Известия ЮФУ. Технические науки*, 11, 116–120.
- Барабанщиков, В. А., Жегалло, А. В. (2014). *Айтрекинг: Методы регистрации движений глаз в психологических исследованиях и практике*. Когито-Центр.
- Блинникова, И. В., Ишмуратова, Ю. А. (2021). Решение задач экспертами и новичками в области химии: анализ ошибок, времени выполнения и параметров движений глаз. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 2, 281–313.
- Веракса, А. Н., Коробейникова, Е. Ю., Леонов, С. В., Рассказова, Е. И. (2015). Глазодвигательные параметры стрелков из лука в процессе прицеливания. *Психологический журнал*, 36(6), 109–118.
- Горовая, А. Е., Коробейникова, Е. Ю. (2013). Использование технологии айтрекинга в психологии спорта. *Психологическая наука и образование*, 1, 1–16.
- Грушко, А. И., Леонов, С. В. (2013). Использование систем регистрации движений глаз.. *Национальный психологический журнал*, 1, 106–116. <https://doi.org/10.11621/npj.2013.0214>
- Грушко, А. И. (2017). Использование систем регистрации движений глаз в психологической подготовке спортсменов. Москва.
- Ермаченко, Н. С., Ермаченко, А. А., Латанов, А. В. (2011). Интеграция видеоокулографии и электроэнцефалографии для исследования зрительного селективного внимания у человека. *Журнал высшей нервной деятельности*, 5, 1–10.
- Исаев, А. В., Исайчев, С. А. (2015). Количественные и качественные индикаторы формирования антиципации у спортсменов-борцов. *Национальный психологический журнал*, 18(2), 25–32.
- Леонов, С. В., Грушко, А. И. (2015). Применение систем регистрации движений глаз в психологической подготовке футболистов. *Национальный психологический журнал*, 2(18), 1–24.
- Леонов, С. В., Поликанова, И. С., Булаева, Н. И., Клименко, В. А. (2020). Особенности использования виртуальной реальности в спортивной практике. *Национальный психологический журнал*, 1(37), 18–30.
- Меньшикова, Г. Я., Пичугина, А. О. (2021). К вопросу об особенностях анализа движений глаз в процессе восприятия лиц. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 1, 196–219.
- Напалков, Д. А., Ратманова, П. О., Коликов, М. Б. (2009). *Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка: Методические рекомендации*. МАКС Пресс.
- Поликанова, И. С., Леонов, С. В., Якушина, А. А., Чертополохов, В. А., Исаев, А. В. (2022). *Использование систем регистрации движений глаз в психологической подготовке единоборцев*. С. А. Шевыри, Т. Н. Ключинская (ред.). *Физическая культура, спорт, туризм: научно-методическое сопровождение: материалы X Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Пермский Государственный гуманитарно-педагогический университет.
- Проница, А. С., Григорян, Р. К., Каплан, А. Я. (2018). Движения глаз человека при наборе текста в интерфейсе мозг-компьютер на основе потенциала П300: эффект размера стимула и расстояния между стимулами. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 4, 120–134.
- Смирнова, Я. К. (2022). Айтрекинг исследования использования разных форм инструкции

- в обучении детей с нарушением слуха. *Вестник Московского университета. Серия 14. Психология*, 2, 192–222.
- Тамбовский, А. Н. (2003). *Теоретические и прикладные основы спортивной офтальмоэргономики*. Москва.
- Турицын, М. И., Анохин, А. Н., Воловод, Д. А., Герасимчук, И. С., Машковцева, Р. И. (2016). Исследование характеристик и возможности применения бюджетного айтрекера в эргономических задачах. А. Н. Анохин, П. И. Падерно, С. Ф. Сергеев (ред.). *Сборник материалов Второй международной научно-практической конференции «Человеческий фактор в сложных технических системах и средах» (Эрго-2016)*. Санкт-Петербург.
- Цзинь, А., Тамбовский, А. Н. (2017). Техничко-тактическая деятельность спортсмена с позиции спортивной офтальмоэргономики. *Ученые записки университета имени П.Ф. Лесгафта*, 5(147), 188–192.
- Afonso, J., Garganta, J., McRobert, A., Williams, A. M., & Mesquita, I. (2012). The perceptual cognitive processes underpinning skilled performance in volleyball: evidence from eye-movements and verbal reports of thinking involving an in situ representative task. *Journal of Sports Science and Medicine*, 11(2), 339–345.
- Aksum, K. M., Magnaguagno, L., Børndal, C. T., & Jordet, G. (2020). What Do Football Players Look at? An Eye-Tracking Analysis of the Visual Fixations of Players in 11 v 11 Elite Football Match Play. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.56299>
- Aoyama, C., Goya, R., Suematsu, N., Kadota, K., Yamamoto, Y., & Shimegi, S. (2022). Spatial Accuracy of Predictive Saccades Determines the Performance of Continuous Visuomotor Action. *Frontiers in Sports and Active Living*, 3. <https://doi.org/10.3389/fspor.2021.775478>
- Barfoot, K. M., Casey, M. C., & Callaway, A. J. (2012). *Combined EEG and eye-tracking in sports skills training and performance analysis*. World Congress of Performance Analysis of Sport. University of Worcester.
- Brams, S., Ziv, G., Levin, O., Spitz, J., Wagemans, J., Williams, A. M., & Helsen, W. F. (2019). The relationship between gaze behavior, expertise, and performance: A systematic review. *Psychological Bulletin*, 145, 980–1027.
- Calabrò, R. S., Naro, A., Russo, M., Leo, A., De Luca, R., Balletta, T., Buda, A., La Rosa, G., Bramanti, A., & Bramanti, P. (2017). The role of virtual reality in improving motor performance as revealed by EEG: a randomized clinical trial. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 14(1). <https://doi.org/10.1186/s12984-017-0268-4>
- Clay, V. (2019). Eye Tracking in Virtual Reality. *Journal of Eye Movement Research*, 12(1).
- Di Russo, F., Pitzalis, S., & Spinelli, D. (2003). Fixation stability and saccadic latency in elite shooters. *Vision Research*, 43, 1837–1845
- Espino Palma, C., Luis del Campo, V., & Muñoz Marín, D. (2023). Visual Behaviours of Expert Padel Athletes When Playing on Court: An In Situ Approach with a Portable Eye Tracker. *Sensors*, 23, 1438. <https://doi.org/10.3390/s23031438>
- Fujiwara, K., Kiyota, N., Maekawa, M., Kunita, K., Kiyota, T., & Maeda, K. (2009). Saccades and prefrontal hemodynamics in basketball players. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 647–651.
- Heilmann, F., & Witte, K. (2021). Perception and Action under Different Stimulus Presentations: A Review of Eye-Tracking Studies with an Extended View on Possibilities of Virtual Reality. *Applied Sciences*, 11, 5546. <https://doi.org/10.3390/app11125546>
- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology*, 13, 1–27.
- Holmqvist, K., Nyström, M., & Mulvey, F. (2012, March). *Eye tracker data quality: What it is and how to measure it*. In: Proceedings of the symposium on eye tracking research and applications. <https://doi.org/10.1145/2168556.2168563>

- Houze, J., Spaniol, F.J., & Paulison, E. (2023). The Relationship between Visual Skills and Batting Performance of Elite Major League Baseball Batters. *Annals of Sports Medicine and Research*, 10(1), 1200.
- Hüttermann, S. Noël, B., & Memmert, D. (2018). Eye tracking in high-performance sports: Evaluation of its application in expert athletes. *International Journal of Computer Science in Sport*, 17(2), 182–203.
- Janelle, C. M., Hillman, C. H., & Apparies, R. J. (2000). Expertise Differences in Cortical Activation and Gaze Behavior during Rifle Shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 22(2), 167–182.
- Kishita, Y., Ueda, H. & Kashino, M. (2020). Temporally Coupled Coordination of Eye and Body Movements in Baseball Batting for a Wide Range of Ball Speeds. *Frontiers in Sports and Active Living*, 2, 64. <https://doi.org/10.3389/fspor.2020.00064>
- Kredel, R., Vater, C., Klostermann, A. & Hossner, E.-J. (2017). Eye-Tracking Technology and the Dynamics of Natural Gaze Behavior in Sports: A Systematic Review of 40 Years of Research. *Frontiers in Psychology*, 8, 1845. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01845>
- Llanes-Jurado, J. L., Marín-Morales, J., Guixeres, J., & Alcañiz, M. (2020). Development and Calibration of an Eye-Tracking Fixation Identification Algorithm for Immersive Virtual Reality. *Sensors*, 20(17).
- Mann, D. T. Y., Coombes, S. A., Mousseau, M. B., & Janelle, C. M. (2011). Quiet eye and the Bereitschafts potential: visuomotor mechanisms of expert motor performance. *Cognitive processing*, 12(3), 223–234.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: a meta-analysis. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 457–478. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.4.457>
- Martell, S. G., & Vickers, J. N. (2004). Gaze characteristics of elite and nearelite athletes in ice hockey defensive tactics. *Human Movement Science*, 22, 689–712. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2004.02.004>
- McGuckian, T. B., Cole, M. H., Jordet, G., Chalkley, D., & Pepping, G.-J. (2018). Don't turn blind! The relationship between exploration before ball possession and on-ball performance in association football. *Frontiers in Psychology*, 9, 2520. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02520>
- Menshikova, G., Kovalev, A., & Klimova, O. (2014). Testing the Vestibular Function Development in Junior Figure Skaters Using the Eye Tracking Technique. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 146(6–7), 252–258.
- Menshikova, G. Ya., Kovalev, A. I., Klimova, O. A., & Barabanschikova, V. V. (2017). The application of virtual reality technology to testing resistance to motion sickness. *Psychology in Russia: State of the art*, 10(3), 151–164.
- Nyström, M. (2010). An adaptive algorithm for fixation, saccade, and glissade detection in eye tracking data. *Behavior Research Methods*, 42(1), 188–204.
- Pastel, S., Chen, C.-H., Martin, L., Naujoks, M., Petri, K., & Witte, K. (2020). Comparison of gaze accuracy and precision in real-world and virtual reality. *Virtual Reality*, 25, 175–189.
- Piras, A., Lobietti, R., & Squatrito, S. (2010). A study of saccadic eye movement dynamics in volleyball: comparison between athletes and non-athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 50, 99–108.
- Piras, A., Raffi, M., Lanzoni, I. M., Persiani, M., & Squatrito, S. (2015). Microsaccades and prediction of a motor act outcome in a dynamic sport situation. Microsaccades in table tennis. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 56, 4520–4530. <https://doi.org/10.1167/iovs.15-16880>
- Rayner, K. (1998). Eye Movements in Reading and Information Processing: 20 Years of Research. *Psychological Bulletin*, 124(3), 372–422.

- Sáenz-Moncaleano, C., Basevitch, I., & Tenenbaum, G. (2018). Gaze Behaviors During Serve Returns in Tennis: A Comparison between Intermediate- and High-Skill Players. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 40, 49–59.
- Salvucci, D. D. & Goldberg, J. H. (2000). Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. *The symposium: Proceedings. New York: Association for Computing Machinery*, 71–78.
- Widdel, H. (1984). *Operational Problems in Analysing Eye Movements*. In A. G. Gale, F. Johnson (eds). *Theoretical and applied aspects of eye movement research*. North-Holland.
- Wirth, M., Kohl, S., Gradl, S., Farlock, R., Roth, D., & Eskofier, B. M. (2021). Assessing Visual Exploratory Activity of Athletes in Virtual Reality Using Head Motion Characteristics. *Sensors*, 21, 3728. <https://doi.org/10.3390/s21113728>

Поступила в редакцию: 05.09.2023

Поступила после рецензирования: 28.11.2023

Принята к публикации: 16.01.2024

Заявленный вклад авторов

Анастасия Александровна Якушина – анализ литературы, подготовка первичной версии статьи, рецензирование и редактирование статьи, окончательное утверждение версии для публикации.

Наталья Игоревна Булаева – анализ литературы, подготовка первичной версии статьи, окончательное утверждение версии для публикации.

Сергей Владимирович Леонов – методология исследования, окончательное утверждение версии для публикации.

Ирина Сергеевна Поликанова – рецензирование и редактирование статьи, окончательное утверждение версии для публикации.

Клименко Виктор Александрович – методология исследования, окончательное утверждение версии для публикации.

Информация об авторах

Якушина Анастасия Александровна – преподаватель кафедры психологии образования и педагогики, факультет психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация; WoS Researcher ID: AAD-7789-2022; Scopus Author ID: 57226891040; РИНЦ AuthorID: 1142942; SPIN-код РИНЦ: 5842-9962; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4968-336X>; e-mail: anastasia.ya.au@yandex.ru

Булаева Наталья Игоревна – оператор ЭВМ лаборатории по обеспечению учебного процесса и практикума по общей психологии факультета психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-3031>; e-mail: natali.psy99@gmail.com

Леонов Сергей Владимирович – кандидат психологических наук, доцент кафедры методологии психологии, факультет психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация; WoS Researcher ID: I-8368-2012; РИНЦ AuthorID: 241123; SPIN-код РИНЦ: 2840-1360; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8883-9649>; e-mail: svleonov@gmail.com

Поликанова Ирина Сергеевна – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Психология профессий и конфликта», факультет психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 88572012; РИНЦ AuthorID: 786645; SPIN-код РИНЦ: 5818-5573; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-3487>; e-mail: irinapolikanova@mail.ru

Клименко Виктор Александрович – кандидат технических наук, научный сотрудник кафедры методологии психологии, факультет психологии, Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, г. Москва, Российская Федерация; Scopus Author ID: 57211313687; РИНЦ AuthorID: 1067381; SPIN-код РИНЦ: 8672-0976; ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4112-9690>; e-mail: klimenko@siberia.design

Информация о конфликте интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.