

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
Санкт-Петербургский государственный университет

Ибрагимова Алёна Георгиевна

**ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСВЕЩЕНИЯ НА УСПЕШНОСТЬ  
ВЫПОЛНЕНИЯ КОГНИТИВНЫХ ТЕСТОВ**

Выпускная квалификационная работа по направлению подготовки  
50.03.01 «Искусства и гуманитарные науки»

Образовательная программа «Свободные искусства и науки»  
Профиль «Когнитивные исследования»

Научный руководитель:

Подвигина Дарья Никитична,  
кандидат психологических наук,  
старший научный сотрудник,  
Лаборатория когнитивных исследований

Санкт-Петербург  
2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	3
Литературный обзор.....	5
Цветовая температура света.....	5
Влияние света на человека.....	6
Обзор методик .....	9
Методика.....	15
Результаты .....	20
Обсуждение результатов.....	42
Заключение .....	45
Библиография .....	46
Приложения .....	52

## **Введение**

В экспериментальной психологии популярно использование компьютеров и планшетов для предъявления заданий испытуемым. При помощи таких электронных устройств можно точнее замерять ответы испытуемых, а также создавать сложные дизайны экспериментов. Однако, при использовании такого вида электронных устройств не учитывается то, что экраны компьютеров излучают определенный свет, который может повлиять на ответы испытуемых.

В сетчатке человека присутствуют фоторецепторные клетки, вырабатывающие фотопигмент меланопсин. Меланопсин влияет на регуляцию циркадных ритмов, а также на уровень бодрствования. Клетки, содержащие меланопсин, наиболее чувствительны к свету, смещенному в синюю часть видимого спектра. Именно такой свет, как правило, излучают экраны электронных устройств. Таким образом, использование компьютеров при проведении эксперимента может повлиять на уровень бодрствования испытуемых, а, следовательно, и на качество их ответов.

В данной работе объектом исследования является влияние параметров освещения на человека. Предметом изучения является влияние цветовой температуры света экрана компьютера на успешность выполнения когнитивных задач. В нашей работе мы сконцентрировали внимание на использовании компьютеров, а не других источников освещения (светодиодных ламп, люминесцентных ламп, ламп накаливания), поскольку данный тип освещения почти не рассматривался в контексте влияния на выполнение когнитивных задач. Кроме этого, цветовую температуру экрана легче регулировать в повседневных условиях, по сравнению с цветовой температурой ламп. Это позволяет использовать результаты данного исследования в прикладных целях: при разработке дизайнов

психологических экспериментов, а также при устройстве рабочих и учебных мест.

Цель данной работы - установить влияние цветовой температуры света на успешность выполнения когнитивных тестов. Для достижения этой цели был выполнен ряд задач. Был проведен поиск и ознакомление с научной литературой на тему влияния параметров освещения на человека. Также была проведена практическая часть: разработка методики и стимулов, проведение эксперимента. В конечном итоге, были проанализированы получившиеся данные и сделаны соответствующие выводы.

Структура работы соответствует перечисленным выше задачам. В работе представлен литературный обзор. Затем описан проведенный эксперимент: стимульный материал, методика. Далее приводится анализ полученных данных и выводы по результатам. В заключении подводятся итоги проделанной работы.

Вопросы, затрагиваемые в данной работе, актуальны для экспериментальной психологии, психологии среды, а также для изучения когнитивных способностей человека.

## Литературный обзор

### *Цветовая температура света*

Объектом нашего исследования является влияние параметров освещения на успешность выполнения когнитивных тестов. В качестве изучаемого параметра освещения мы выбрали цветовую температуру света.

Цветовая температура света измеряется в градусах Кельвина. Начало отсчета шкалы Кельвина (Рис. 1) 0К (-273,15 °С) является абсолютным нулем температуры. Такой температурой обладает абсолютно черное тело, которое поглощает все падающее на него излучение и ничего не отражает.

Несмотря на то, что абсолютно черное тело не отражает свет, оно может излучать свет при нагревании. При этом мы можем увидеть цвет абсолютно черного тела. Этот цвет будет зависеть от того, до какой температуры нагреется абсолютно черное тело. Именно это свойство легло в основу определения цветовой температуры: цветовая температура – это температура абсолютно черного тела, при которой оно испускает излучение того же цветового тона, что и рассматриваемое излучение (*Дойников, 1999*).

Любой видимый нами источник света имеет положительную цветовую температуру. Чем выше цветовая температура, тем визуальное изображение источника света выглядит более холодным. Соответственно, чем меньше цветовая температура, тем визуальное изображение источника света выглядит более тёплым.

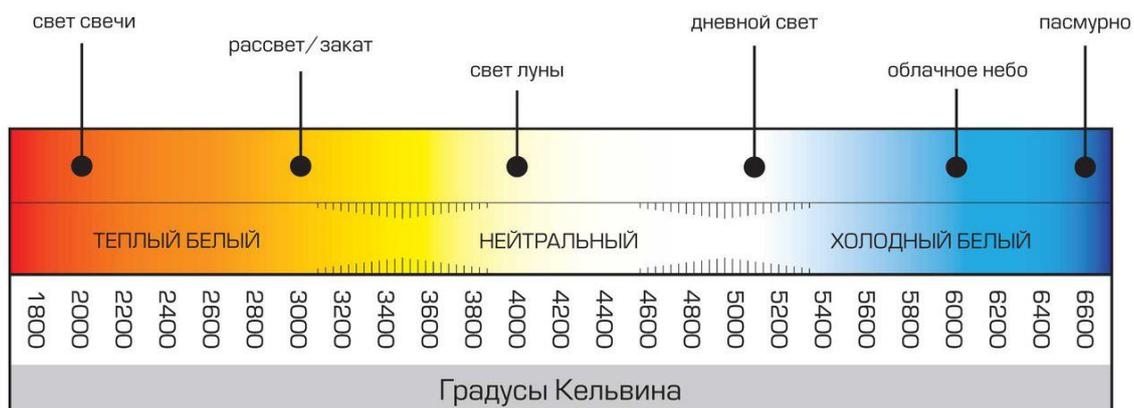


Рис. 1. Шкала градусов Кельвина

### ***Влияние света на человека***

Согласно исследованиям, источники с разной температурой света могут оказывать различное влияние на человека. Известно, что свет, помимо непосредственно улучшения видимости, влияет на физиологические процессы человека. Предъявление различных видов света может влиять на циркадные ритмы человека, его настроение и уровень бодрости (*Phipps-Nelson et al., 2009*), увеличение температуры тела и учащение сердечного ритма, а также на подавление мелатонина (*Küller et al., 2006*). Данные невизуальные эффекты (non-visual effects) света присутствуют даже у некоторых слепых людей (*Czeisler et al., 1995; Vandewalle et al., 2013*), что предполагает, что эти эффекты независимы от той части визуальной системы, которая ответственна за формирование изображений.

Известно, что за распознавание объектов отвечают светочувствительные клетки: палочки и колбочки. Они регистрируют поступающий свет при помощи зрительных пигментов, передают информацию в головной мозг человека. На основе этой информации человек может различать форму, цвет и движение объектов. Однако, помимо палочек и колбочек, в сетчатке глаза присутствует третий тип фоторецепторных клеток, который был открыт в 1990-е годы (*Berson et al., 2002*).

Данный тип клеток получил название «внутренние светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки» - *intrinsically photosensitive retinal ganglion cells (ipRGCs)*. Эти клетки имеют нервные связи с двумя образованиями в мозгу: супрахиазматическими клетками, являющимися биологическими часами мозга, и с шишковидной железой (эпифизом). Шишковидная железа регулирует секрецию определенных гормонов в организме (*Иоффе, 2010*).

Предыдущие исследования показали, что по крайней мере часть невизуальных эффектов света происходит при участии внутренних

светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки (*Hattar et al., 2002; Van Bommel, 2002*). В частности, было обнаружено, что система ipRGCs оказывает прямой эффект на циркадные ритмы человека (*Brainard et al., 2005*).

Светочувствительные ганглиозные клетки сетчатки (ipRGCs) вырабатывают фотопигмент меланопсин (*Berson et al., 2002*), поэтому сама система получила название меланопсин-зависимой фоторецепторной системы. Меланопсин – это фотопигмент, шестой опсин, обнаруженный в сетчатке млекопитающих. Он принимает участие в регуляции циркадных ритмов и в зрачковом рефлексе, но не в формировании изображения (*Berson et al., 2002*). Меланопсин регулирует функции организма (концентрацию гормонов, режим сна, уровень бодрствования, температуру тела) в зависимости от времени суток.

Согласно исследованиям, клетки, содержащие меланопсин, наиболее чувствительны к свету, смещенному в синюю часть видимого спектра, с длиной волны приблизительно 490 нанометров (*Provencio et al., 2000; Enezi et al., 2011; Wood et al., 2013; Ámundadóttir et al., 2016*). После данного открытия появились исследования, подтверждающие более интенсивное влияние синего света (или насыщенного синим света - blue-enriched white light) на циркадные ритмы человека, по сравнению с белым светом.

Так, например, в двух исследованиях *Lockley et al. (2006)* и *Cajochen et al. (2005)* авторы продемонстрировали, что воздействие синим светом оказывает большее влияние (по сравнению с желтым или зеленым светом) в подавлении выработки мелатонина и изменении циркадных фаз. Синий свет также влияет на температуру тела и уровень бодрствования человека.

В исследовании *Chellappa et al. (2011)* было показано, что у испытуемых, которых подвергали воздействию более холодного света (6500К), подавление выработки мелатонина, а также улучшение

самочувствия и повышение уровня субъективной бодрости происходило в большей степени, чем у тех испытуемых, которых подвергали воздействию более теплого света в 2500К или 3000К.

Таким образом, доказывается влияние синего света на циркадные ритмы человека и уровень бодрствования (по оценке самих испытуемых). В свою очередь, результаты экспериментальных исследований показывают, что изменения в циркадных ритмах человека оказывают краткосрочное воздействие на различные аспекты когнитивной деятельности, включая работу внимания, рабочей памяти и исполнительных функций (*Rouch et al., 2005; Haidarimoghadam et al., 2016; Kazemi et al., 2016*).

Иными словами, воздействие синим светом должно влиять не только на физиологические процессы человека, но и, опосредовано через физиологические процессы, на выполнение когнитивных задач. Данное предположение подтверждается рядом экспериментальных работ.

Так, например, в исследовании *Baek (2015)* было показано, что воздействие синим светом снижает амплитуду альфа-ритма у испытуемых и улучшает устойчивость внимания. В двух других исследованиях *Phipps-Nelson et al. (2009)* и *Viola et al. (2008)* авторы продемонстрировали, что источники освещения с синим светом в дневное время повышают субъективный уровень бодрствования, а также улучшают выполнение когнитивных задач.

Также исследования в этой области говорят о том, что свет с более высокой цветовой температурой обеспечивает улучшение в таких когнитивных сферах, как устойчивость внимания, рабочая память (*Cajochen et al., 2011; Hawes et al., 2012*) и переключение задач (*Ferlazzo et al., 2014*). Кроме этого, исследования с использованием метода функциональной магнитно-резонансной томографии (фМРТ) выявили, что воздействие синего

света ведет к таким эффектам, как повышение уровня бодрствования и улучшение выполнения когнитивных задач (*Phipps-Nelson et al., 2009*).

### **Обзор методик**

#### **1. Задания**

Как уже описывалось выше, исследователи изучали, как влияют источники освещения с различной цветовой температурой на успешность выполнения когнитивных задач у человека. В исследованиях ученые использовали похожие задания для испытуемых.

Так, например, в исследовании *Heath et al. (2014)* изучалось то, может ли один час воздействия светом от экрана планшета существенно повлиять на бодрость подростков, качество сна и функционирование в течение дня. Уровень бодрствования подростков измерялся при помощи задания на скорость - GO/NOGO task. Данное задание выглядит следующим образом: на экране в случайном порядке предъявляются поочередно буквы «М» или «W». Задача испытуемых заключается в том, чтобы отвечать только тогда, когда на экране появляется буква «М», нажав кнопку пробела. В данном задании записывались следующие показатели: время реакции (мс) и процент правильных ответов (%).

Такое же задание использовалось в исследовании *Chellappa et al., 2011*. В нем задание GO/NOGO task помогало измерять способность к постоянному вниманию и контролю над реакцией. Также в данном исследовании использовались другие когнитивные тесты: тест на внимательность (Psychomotor vigilance Task - PVT) и тест на исполнение (Paced Visual Serial Addition Task - PVSAT).

В тесте на внимательность PVT участникам необходимо как можно быстрее отреагировать на аудио-стимул, нажав на кнопку. Стимул появлялся с интервалом от 3 до 7 секунд. Данный тест помогает измерять

внимательность испытуемых, также тест чувствителен к уровню бодрствования испытуемых.

В тесте на исполнение (executive functioning) PVSAT (Paced Visual Serial Addition Task) на экране поочередно предъявляются цифры от 1 до 9. Задача участников – складывать цифры, предъявляемые на экране, и затем давать правильный ответ путем выбора из нескольких вариантов. Цифры предъявляются на 1000 мс, с интервалом между предъявлениями в 2000 мс.

В исследовании *Beaven et al. (2013)* сравнивался эффект от воздействия синего света и кофеина на когнитивные функции и внимательность у человека. В качестве задания использовались несколько заданий: задание GO/NOGO task, задание на исполнение Eriksen Flanker task и задание на зрительную реакцию. Во всех заданиях записывались самая быстрая скорость реакции и средняя скорость реакции.

В задании GO/NOGO task задача испытуемых, как и в предыдущих исследованиях, состояла в том, чтобы ответить на один тип стимула и проигнорировать другой тип. В качестве стимулов использовались двадцать звуковых и двадцать визуальных стимулов.

В задании на исполнение Eriksen Flanker task испытуемым предъявлялись изображения, на которых были представлена центральная стрелка в окружении других стрелок, либо сонаправленных с центральной, либо направленных в противоположную сторону. Задача испытуемых – определить направление центральной стрелки.

Задание на зрительную реакцию состояло из пяти презентаций зрительных стимулов. Участникам нужно было нажимать на пробел как можно быстрее, когда они видели зрительный стимул.

В исследовании *Lehrl et al. (2007)* изучался эффект от синего света в течение нескольких секунд после предъявления. Использовалось следующее задание: в течение четырех секунд участникам предъявлялась строчка из 25

букв. Задача участников заключалась в том, чтобы как можно быстрее прочитать буквы, а после того, как экран погаснет, записать последние две прочтенные буквы.

Исходя из представленных выше примеров, можно увидеть, что в исследованиях влияния синего света на когнитивные функции человека ученые используют тесты, которые оценивают точность испытуемых и скорость реакции. Также используются тесты с участием дистрактора (как в задании GO/NOGO task), в которых участникам необходимо не только ответить как можно быстрее на появление нужного стимула, но и проигнорировать ненужный стимул.

Выбор данных заданий связан с теоретической гипотезой о влиянии синего света. Как уже описывалось ранее, предполагается, что синий свет влияет на выработку меланопсина. Тот, в свою очередь, влияет на уровень бодрствования у человека, а это влияет на концентрацию внимания. Описанные выше задания подразумевают необходимость сосредоточения внимания испытуемыми при выполнении задания. Таким образом, при изучении влияния синего света на выполнение когнитивных задач у человека лучше использовать задания, которые требуют высокой концентрации внимания.

## **2. Источники освещения**

При изучении влияния синего света на выполнение задач у человека стоит отдельно рассмотреть те источники освещения, которые использовались в других исследованиях.

Для начала обратим внимание на то, что в исследованиях влияния света на человека рассматриваются различные параметры. Часть исследований рассматривает источники освещения с разной цветовой температурой (измеряется в градусах Кельвина), другая часть исследований рассматривает источники с разной длиной волны (измеряется в нанометрах),

также исследуются источники освещения с различной яркостью (измеряется в люксах). Для нашего обзора не столь важно, на какой именно параметр обращали внимание исследователи, так как, во-первых, мы рассматриваем источники освещения в целом (лампы, экраны), а во-вторых, в некоторых исследованиях изучается влияние нескольких параметров.

Так, например, в исследовании *Heath et al. (2014)* одновременно изучалось влияние цветовой температуры экрана, а также влияние яркости экрана. Испытуемые находились поочередно под воздействием экрана с ярким светом (80 люксов), с тусклым светом (1 люкс), а также под воздействием экрана с фильтром, который уменьшает цветовую температуру экрана в течение вечера с 6500К до 2700К. В качестве источника освещения в данном исследовании использовался экран планшета, без использования дополнительных источников освещения. В качестве фильтра использовалась программа *f.lux*, позволяющая изменять цветовую температуру экрана без изменения яркости экрана.

В исследовании *Motamedzadeh et al. (2017)* изучалось влияние синего света на работоспособность и сонливость у работников ночной смены. В данном исследовании использовались линейные люминесцентные лампы, которые представляют собой вытянутые стеклянные трубки, с цветовой температурой 6500К и 17000К.

Лампы применялись также в исследовании *Münch et al. (2017)*, в котором изучалось влияние синего света на циркадные ритмы, уровень мелатонина, концентрацию и сонливость. В данном исследовании использовались светодиодные лампы с более высокой цветовой температурой и лампы накаливания с более низкой цветовой температурой.

Вообще, использование люминесцентных, светодиодных ламп и ламп накаливания характерно для исследований, изучающих влияние синего света на человека (*Lehrl et al., 2007; Chellappa et al., 2011; Beaven et al., 2013;*

*Hartstein et al., 2017*). При этом, в таких исследованиях предполагается, что на участников эксперимента не может воздействовать свет из других источников. Как правило, проведение эксперимента происходит поздно вечером или ночью, иногда в помещениях без окон, а также с выключенным светом. То есть единственный источник освещения, который может воздействовать на испытуемых - это контролируемый источник с определенной цветовой температурой или яркостью, эффект которого изучается в данном исследовании.

Однако, участники экспериментов зачастую выполняют задания на компьютерах, экраны которых являются источниками освещения. Свет от экранов также может повлиять на измеряемые показатели, такие как уровень бодрости или скорость реакции. Исследователи решают эту проблему несколькими путями. Во-первых, они дают задания для испытуемых до и/или после воздействия светом. Во-вторых, используют экраны с фильтром, например, программу f.lux, уменьшая таким образом цветовую температуру экрана. Такие варианты снижают влияние от света экранов на измеряемые показатели, однако, не исключают это влияние полностью.

Поэтому более предпочтительным вариантом является использование в качестве источников освещения экраны компьютеров и планшетов (по крайней мере, в том случае, когда испытуемым необходимо проходить задания на электронных устройствах). Использование электронных устройств уже применялось в исследованиях, посвященных изучению влияния света на человека: *Cajochen et al. (2011); Figueiro et al. (2011); Heath et al. (2014)*.

### **3. Выводы**

В результате анализа литературы мы выявили, что тема влияния света, излучаемого экранами электронных устройств (планшетов и компьютеров), на человека осталась малоизученной. В основном, в качестве источников

освещения использовались лампы (светодиодные, лампы накаливания). Кроме этого, в качестве используемых заданий зачастую использовались похожие тесты на внимательность и скорость реакции, но при этом почти не использовались тесты на креативность, память или пространственное мышление. Также в исследуемой литературе почти не встречается использование света в повседневных условиях (на рабочих и учебных местах, местах отдыха). Изучение влияния света на человека, как правило, происходит в контролируемых лабораторных условиях, с длительными многочасовыми экспериментами.

Таким образом, краткосрочное влияние синего света на когнитивные способности людей практически не исследовано. Поэтому, в дальнейшем необходимо исследовать влияние синего света с непродолжительным предъявлением синего света. Также необходимо исследовать влияние синего света с использованием экранов электронных устройств в качестве источников освещения. Кроме этого, необходимо исследовать влияние синего света на производительность и самочувствие людей в повседневных условиях (на работе, в учебных заведениях).

В проведенном нами эксперименте мы исследовали влияние синего света с учетом малоизученных тем, описанных выше. Мы воздействовали синим светом на испытуемых в течение непродолжительного промежутка времени, при этом в качестве источника освещения был использован экран компьютера.

## **Методика**

**Теоретическая гипотеза** Цветовая температура света влияет на уровень бодрствования человека и, как следствие, на эффективность выполнения когнитивных задач.

**Экспериментальная гипотеза** Участники под воздействием цветовой температуры экрана в 6500К будут эффективнее выполнять когнитивную задачу, по сравнению с участниками, которые находятся под воздействием цветовой температуры экрана в 2700К.

Эффективность выполнения оценивается по трем показателям: процент правильных ответов, скорость реакции и количество пропусков.

**Участники** Шестьдесят студентов Санкт-Петербургского государственного университета (50 женщин, 10 мужчин), в возрасте от 18 до 26 лет. Все испытуемые имели нормальное или откорректированное до нормального зрение.

**Материал** В качестве стимульного материала использовался набор изображений – матриц, различающихся по степени ориентационной упорядоченности составляющих элементов. На каждом изображении (в каждой матрице) представлено сто решеток, при этом у изображения существует доминирующая ориентация: вертикальная или горизонтальная. Определяется эта ориентация следующим образом: на изображении представлено 16 или 24 решеток, направленных вертикально или горизонтально.

Преимущество такого набора стимулов состоит в том, что, изменяя упорядоченность элементов, можно контролировать сложность задачи, не меняя при этом основные физические характеристики изображений. Ранее с помощью этих тестов были исследованы зависимости психофизических и электрофизиологических показателей от сложности задачи у человека (Хараузов и др., 2007; Сельченкова и др., 2011; Harauzov et al., 2016),

локализованы области мозга, активирующиеся при работе с данными изображениями (Шелепин и др., 2009).

В нашей работе использование данных изображений в качестве тестовых стимулов обусловлено тем, что задача определить доминирующую ориентацию в таком сложном изображении требует, во-первых, постоянной концентрации внимания, а во-вторых способности к быстрому пространственному анализу предложенной текстуры.

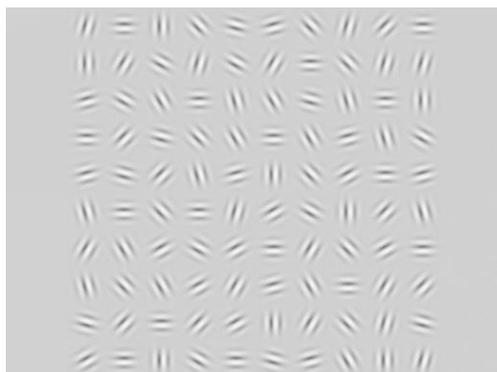
В данной работе использовались четыре группы стимулов.

- 1) Изображения с 16 горизонтальными решетками (Рис. 2)
- 2) Изображения с 16 вертикальными решетками (Рис. 3)
- 3) Изображения с 24 горизонтальными решетками (Рис. 4)
- 4) Изображения с 24 вертикальными решетками (Рис. 5)

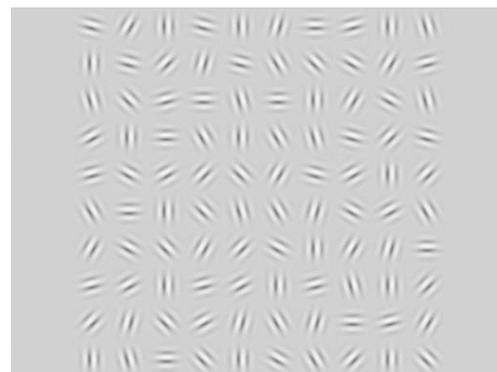
Изображения с 16 однонаправленными решетками оценивались как более сложные изображения, а изображения с 24 однонаправленными решетками – как менее сложные.

Размер изображений: 1024×768 пикселей. Изображения были расположены в центральной части экрана.

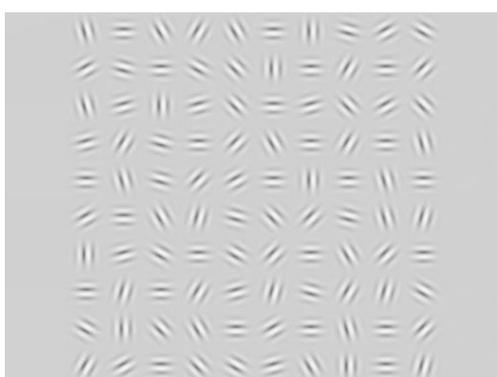
Две кнопки ответа: левая кнопка мыши (для изображений с вертикальной ориентацией), правая кнопка мыши (для изображений с горизонтальной ориентацией) были расположены перед участником.



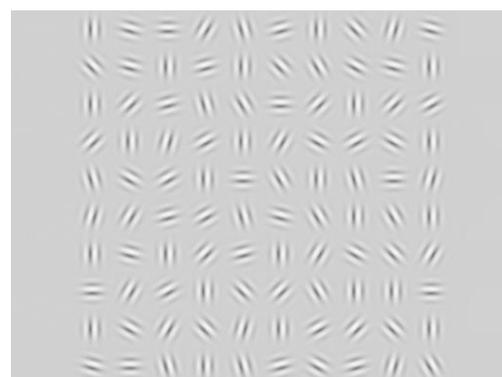
*Рис 2. Пример стимула с 16 горизонтальными решетками*



*Рис 3. Пример стимула с 16 вертикальными решетками*



*Рис 4. Пример стимула с 24 горизонтальными решетками*



*Рис 5. Пример стимула с 16 вертикальными решетками*

**Процедура** Для создания эксперимента использовалась программа EventIDE. Разрешение экрана компьютера, на котором проводился эксперимент: 1920×1080.

Для изменения цветовой температуры экрана использовалась программа f.lux. Данная программа позволяла изменять цветовую температуру экрана, не меняя при этом яркости экрана.

Эксперимент состоял из двух серий. В каждой из серий участник должен был определить доминирующую ориентацию в стимуле на каждом изображении, как можно быстрее нажав на соответствующую кнопку мыши. Для определения вертикальной и горизонтальной ориентации – левую и правую кнопку мыши соответственно.

Время прохождения каждой серии составляло пять минут. Время прохождения всего эксперимента с учетом заполнения анкет в начале

эксперимента, а также короткого трехминутного перерыва между сериями составляло примерно двадцать минут

Все участники были разделены на две равные группы. Одна половина участников проходила эксперимент с цветовой температурой экрана в 6500К (визуально такой свет выглядит более холодным). Вторая же половина участников проходила эксперимент с цветовой температурой экрана в 2700К (визуально свет экрана выглядит более теплым). Сами задания и порядок проведения эксперимента был идентичным для обеих групп.

Эксперимент проходил в светоизолированном помещении с выключенным светом. Единственным источником света являлся экран компьютера, на котором испытуемые выполняли задания.

В начале эксперимента участник заполнял анкету, а также опросник Хорна-Остберга на определение хронотипа. В начале каждой серии участник читал инструкцию (см. Приложение 1), после которой приступал к выполнению задания, состоящему из 80 предъявлений. Между сериями был небольшой трехминутный перерыв, во время которого участники должны были неподвижно сидеть с закрытыми глазами.

В начале каждого предъявления на экране появлялось изображение-стимул с разнонаправленными решетками. Время предъявления изображения – 500 мс. Участник должен был реагировать на предъявленное изображение нажатием соответствующей кнопки мыши (левая – для изображений с доминирующей вертикальной ориентацией, правая – для изображений с доминирующей горизонтальной ориентацией). Время реакции было ограничено. Участник должен был успеть ответить в течение 3500 мс, до предъявления следующего изображения-стимула. Чтобы избежать эффекта последействия, между целевыми стимулами предъявлялась маска с белым шумом.

Во время эксперимента участникам предъявлялось по 80 изображений в каждой из двух серий. Изображения предъявлялись в случайном порядке без замещений.

После прохождения всех заданий с участниками проводилось постэкспериментальное интервью.

Во время эксперимента замерялись следующие показатели: точность ответов (процент правильных ответов от общего числа ответов, с вычетом пропусков), скорость времени реакции (интервал между появлением стимула и нажатием на кнопку), а также количество пропусков.

Ожидались следующие результаты:

- 1) Участники будут точнее отвечать под воздействием цветовой температуры экрана в 6500К по сравнению с участниками, находящимися под воздействием температуры экрана в 2700 К.
- 2) Участники будут быстрее отвечать под воздействием цветовой температуры экрана в 6500К по сравнению с участниками, находящимися под воздействием температуры экрана в 2700 К.
- 3) Участники будут совершать меньше пропусков под воздействием цветовой температуры экрана в 6500К по сравнению с участниками, находящимися под воздействием температуры экрана в 2700 К.

## **Результаты**

Для статистической обработки результатов использовалась программа SPSS Statistics. Анализировались следующие параметры: процент правильных ответов, скорость реакции испытуемых, а также количество пропусков. Для подсчета результатов использовалась процедура ОЛМ-повторные измерения.

### ***1. Процент правильных ответов***

В данном анализе исследовались ответы двух групп испытуемых. Первая группа испытуемых подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 6500К (холодный свет). Вторая группа подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 2700К (теплый свет).

Обе группы поочередно выполняли две серии одинаковых заданий. В каждом из заданий были представлены изображения двух типов сложности. Изображения с 16 однонаправленными решетками (Матрица 16%) оценивались как более сложные, в то время как изображения с 24 однонаправленными решетками (Матрица 24%) – как менее сложные.

Поэтому процент правильных ответов анализировался в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения.

### 1.1. Влияние цветовой температуры экрана на процент правильных ответов

Согласно полученным результатам (Рис. 6), чуть больший процент правильных ответов давали те участники, которые находились под воздействием холодного света ( $M = 61,43\%$ ,  $SE = 1,62$ ), чем теплого ( $M = 59,74\%$ ,  $SE = 1,62$ ). Однако, данные различия не являются статистически значимыми  $F(1,58) = 0,54$ ,  $p = 0,46$ .

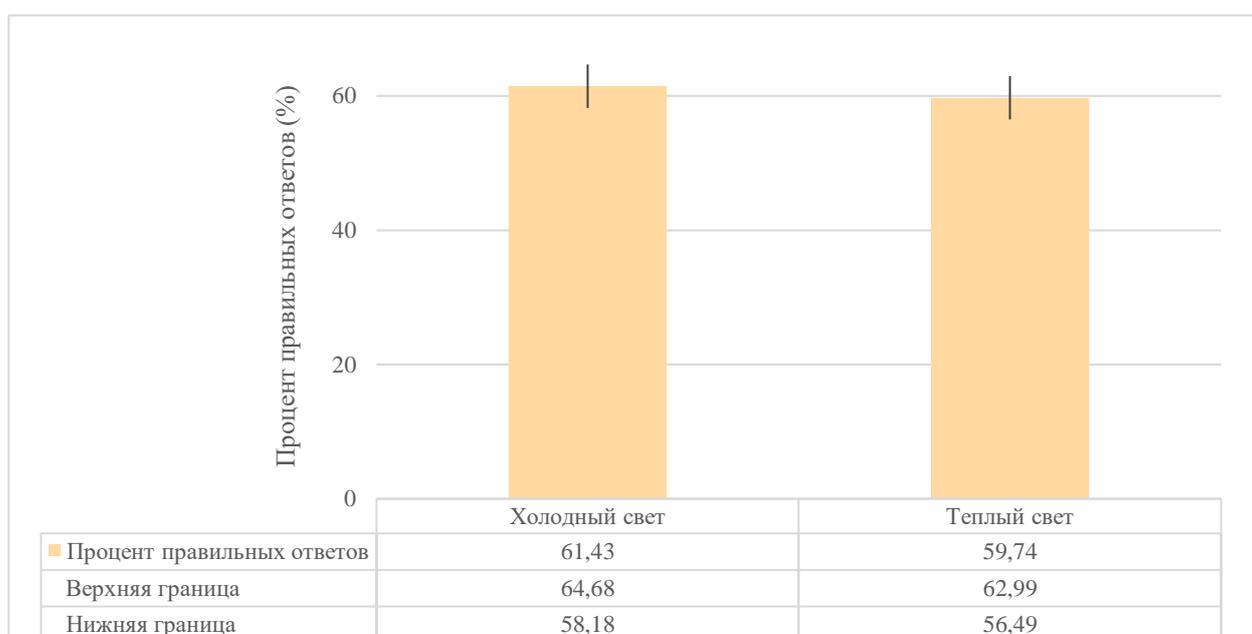


Рис. 6. Процент правильных ответов в зависимости от цветовой температуры экрана

### 1.2. Влияние номера серии на процент правильных ответов

Согласно результатам (Рис. 7), на процент правильных ответов значимо влиял фактор номера серии:  $F(1,58) = 8,55$ ,  $p = 0,005$ . В первой серии участники показали следующие результаты:  $M = 58,87\%$ ,  $SE = 1,29$ . Во второй серии участники справились лучше:  $M = 62,3\%$ ,  $SE = 1,29$ .

То есть, участники обеих групп давали большее количество правильных ответов во второй серии, по сравнению с первой.

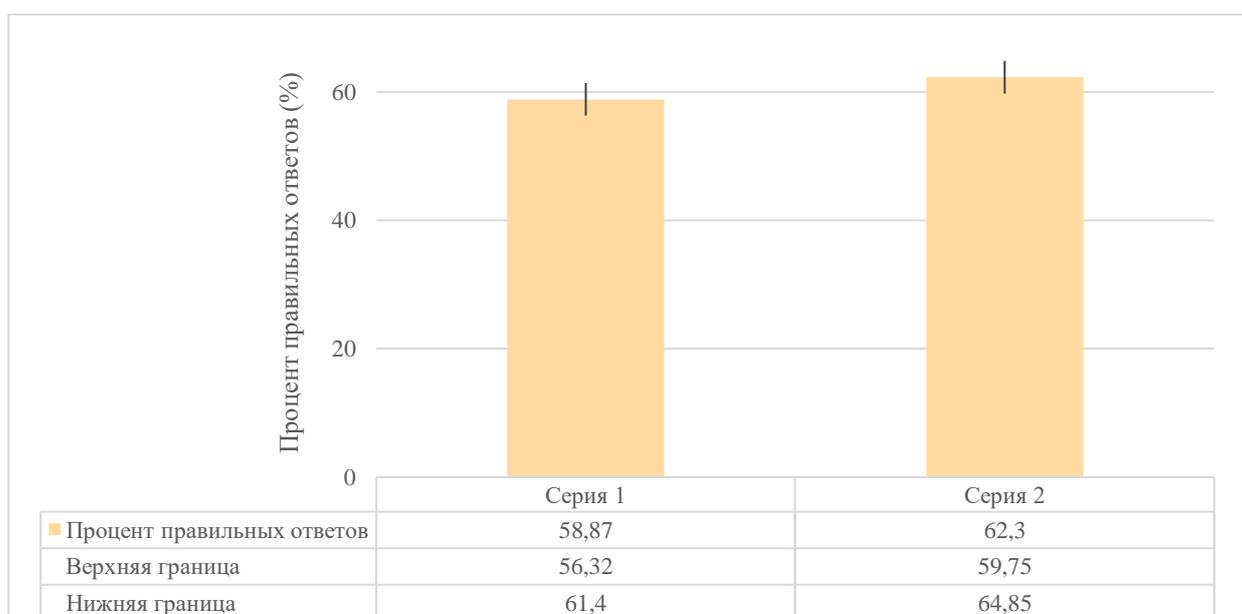


Рис. 7. Процент правильных ответов в зависимости от номера серии

При этом важно отметить, что разница в проценте правильных ответов между группами с холодным и теплым светом появляется только во второй серии (Рис. 8). Так, в первой серии участники под воздействием холодного и теплого света дают почти одинаковые результаты:  $M = 58,96\%$ ,  $SE = 1,79$  и  $M = 58,77\%$ ,  $SE = 1,79$  соответственно, разница не является статистически значимой:  $F(1,58) = 0,01$ ,  $p = 0,94$ .

Во второй серии процент правильных ответов для обеих групп увеличивается, однако, в группе с холодным светом участники успешнее выполняют задание, чем в группе с теплым светом:  $M = 63,9\%$ ,  $SE = 1,86$  и  $M = 60,7\%$ ,  $SE = 1,86$  соответственно. Тем не менее, и в этом случае различия статистически не достоверны:  $F(1,58) = 1,48$ ,  $p = 0,23$ .

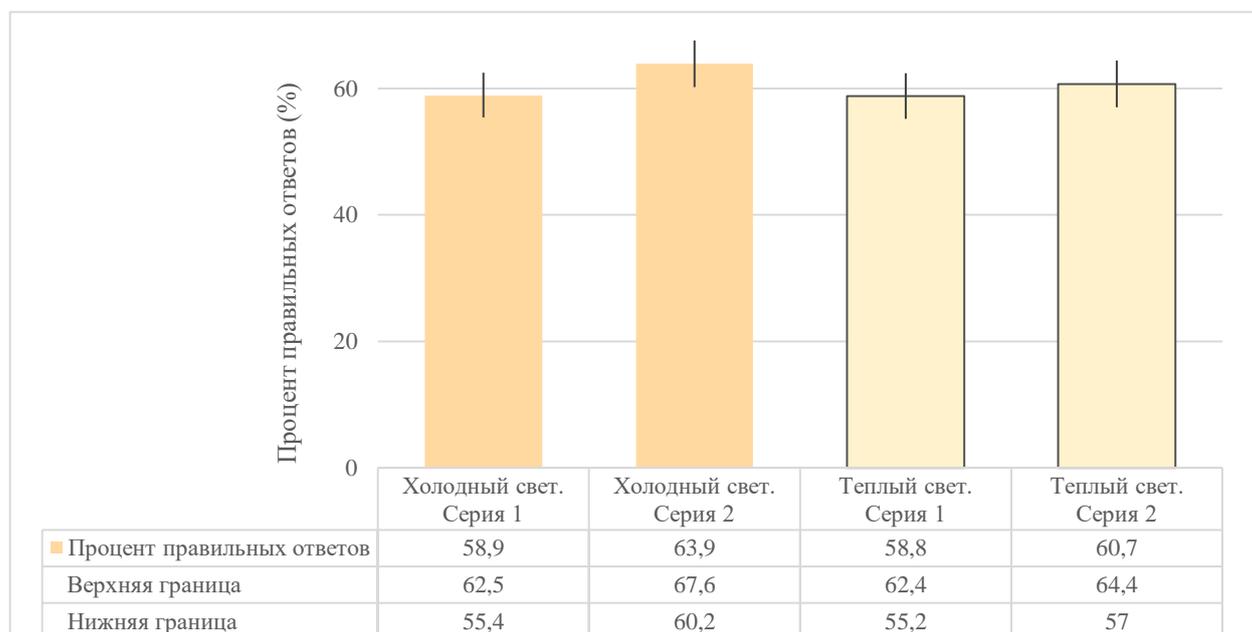


Рис. 8. Процент правильных ответов в зависимости от цветовой температуры экрана и номера серии

### 1.3. Влияние сложности изображения на процент правильных ответов

Результаты (Рис. 9) также различались в зависимости от сложности изображения. Фактор сложности изображения значимо влиял на процент правильных ответов испытуемых:  $F(1,58) = 32,2$ ,  $p < 0,001$ .

На предъявление более сложных изображений с 16 однонаправленными решетками участники обеих групп показали следующие результаты:  $M = 57,08\%$ ,  $SE = 1,3$ . Когда же участникам предъявляли менее сложные изображения с 24 однонаправленными решетками, участники чаще давали правильные ответы:  $M = 64,09\%$ ,  $SE = 1,3$ .

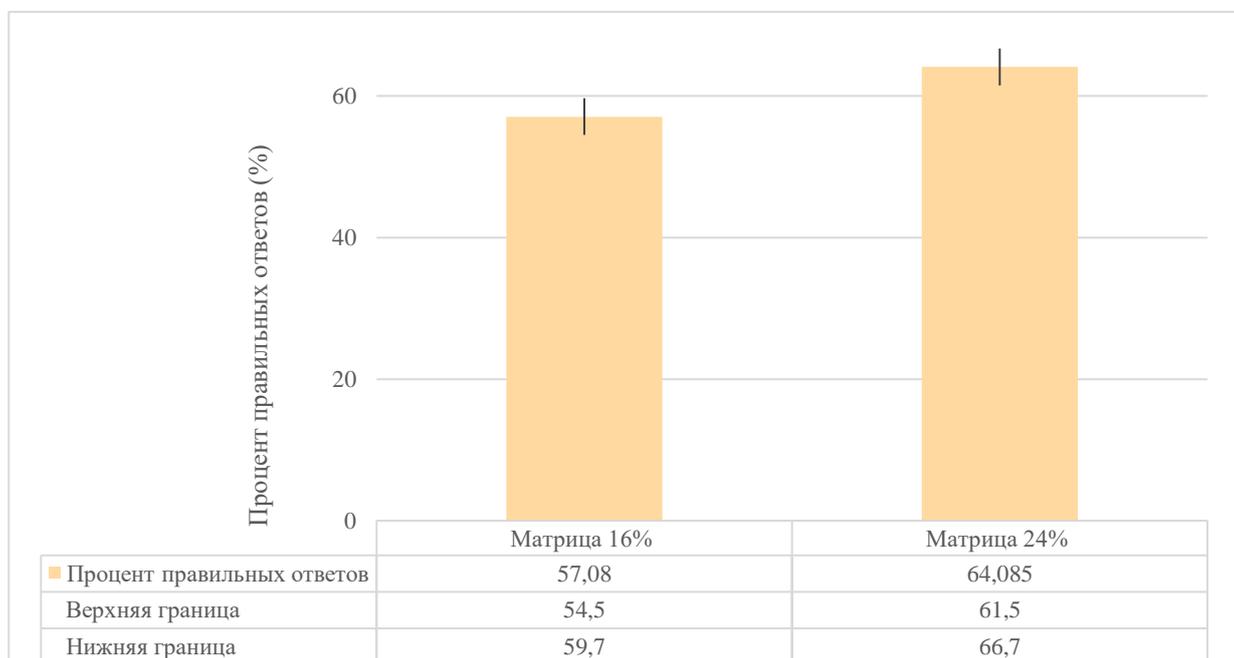


Рис. 9. Процент правильных ответов в зависимости от сложности изображения

При этом фактор цветовой температуры экрана почти никак не повлиял на результаты (Рис. 10) при предъявлении более сложных изображений с 16 однонаправленными решетками. В условии с холодным светом  $M = 57,08\%$ ,  $SE = 1,55$ . В условии с теплым светом  $M = 57,09\%$ ,  $SE = 1,55$ .  $F(1,58) = 0,01$ ,  $p = 0,96$ .

При предъявлении менее сложных изображения с 24 однонаправленными решетками результаты в группах с разным светом немного различаются. В группе с холодным светом  $M = 65,78\%$ ,  $SE = 2,09$ , в группе с теплым светом  $M = 62,39\%$ ,  $SE = 2,09$ . Однако, данные различия статистически не значимы:  $F(1,58) = 1,32$ ,  $p = 0,26$ .

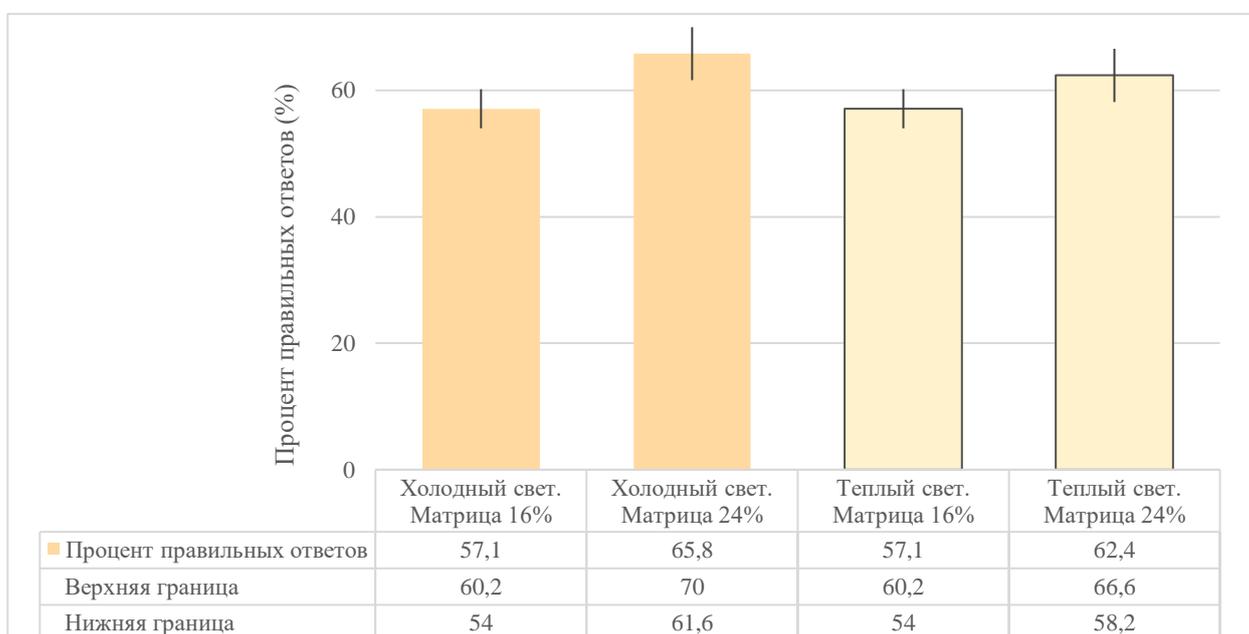


Рис. 10. Процент правильных ответов в зависимости от цветовой температуры экрана и сложности изображения

#### 1.4. Влияние цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения на процент правильных ответов

Результаты внутри группы с теплым светом (Рис. 11) получились следующие. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 57,07\%$ ,  $SE = 1,91$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 60,47\%$ ,  $SE = 2,3$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 57,11\%$ ,  $SE = 2,01$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 64,3\%$ ,  $SE = 2,38$ .

Результаты внутри группы с холодным светом. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 55,24\%$ ,  $SE = 1,91$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 62,68\%$ ,  $SE = 2,3$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 58,91\%$ ,  $SE = 2,01$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 68,88\%$ ,  $SE = 2,38$ .

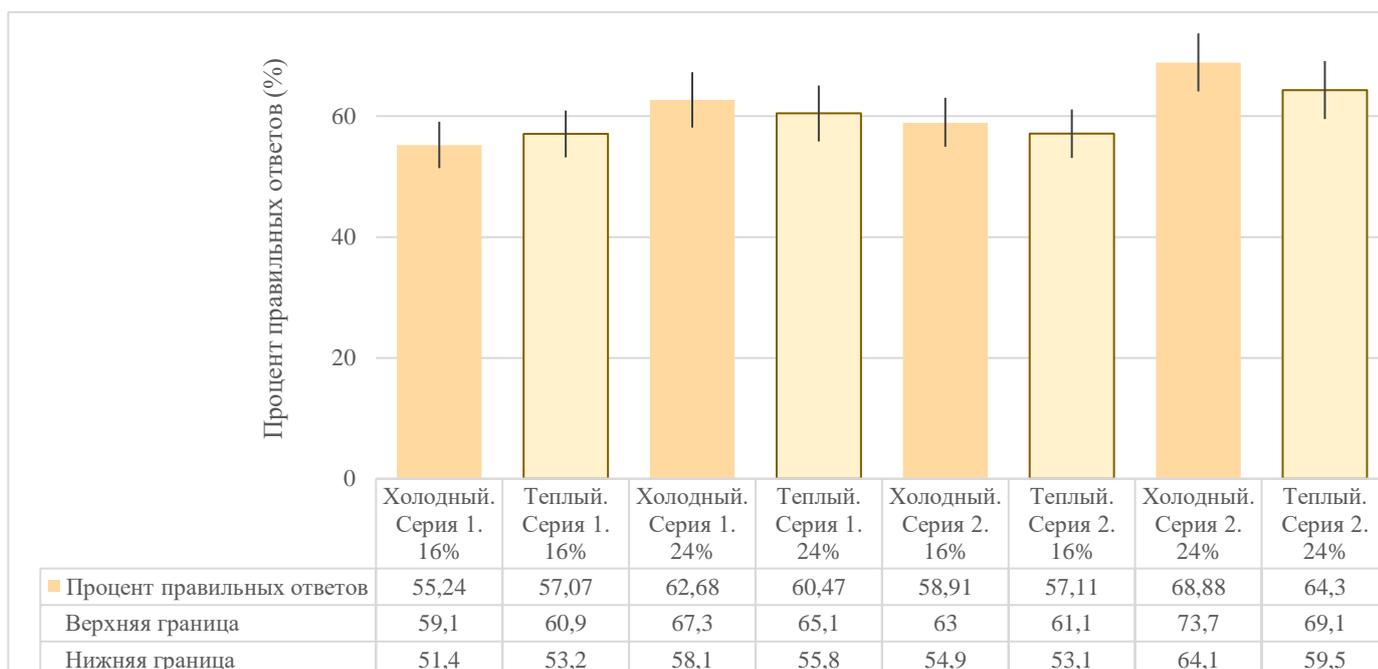


Рисунок 11. Процент правильных ответов в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения

Таким образом, результаты показывают, что на процент правильных ответов значимо влияли два фактора: номер серии ( $F(1,58) = 8,55, p = 0,005$ ) и сложность изображения ( $F(1,58) = 32,2, p < 0,001$ ).

Несмотря на то, что в результатах по фактору цветности света наблюдается различие, и, в среднем, участники из группы с холодным светом показали лучшие результаты, чем участники из группы с теплым светом, это различие не является статистически значимым:  $F(1,58) = 0,54, p = 0,46$ .

## 2. Скорость реакции испытуемых

Скорость реакции испытуемых, так же, как и процент правильных ответов, анализировалась в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения. Напомним, что первая группа испытуемых подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 6500К (холодный свет). Вторая группа подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 2700К (теплый свет).

### 2.1. Влияние цветовой температуры экрана на скорость реакции

Согласно полученным результатам (Рис. 12), участники, которые находились под воздействием теплого света, отвечали быстрее ( $M = 715$  мс,  $SE = 44,64$ ), чем участники, которые находились под воздействием холодного света ( $M = 784$  мс,  $SE = 44,64$ ). Однако, данное различие не является статистически значимым  $F(1,58) = 1,355$ ,  $p = 0,25$ .

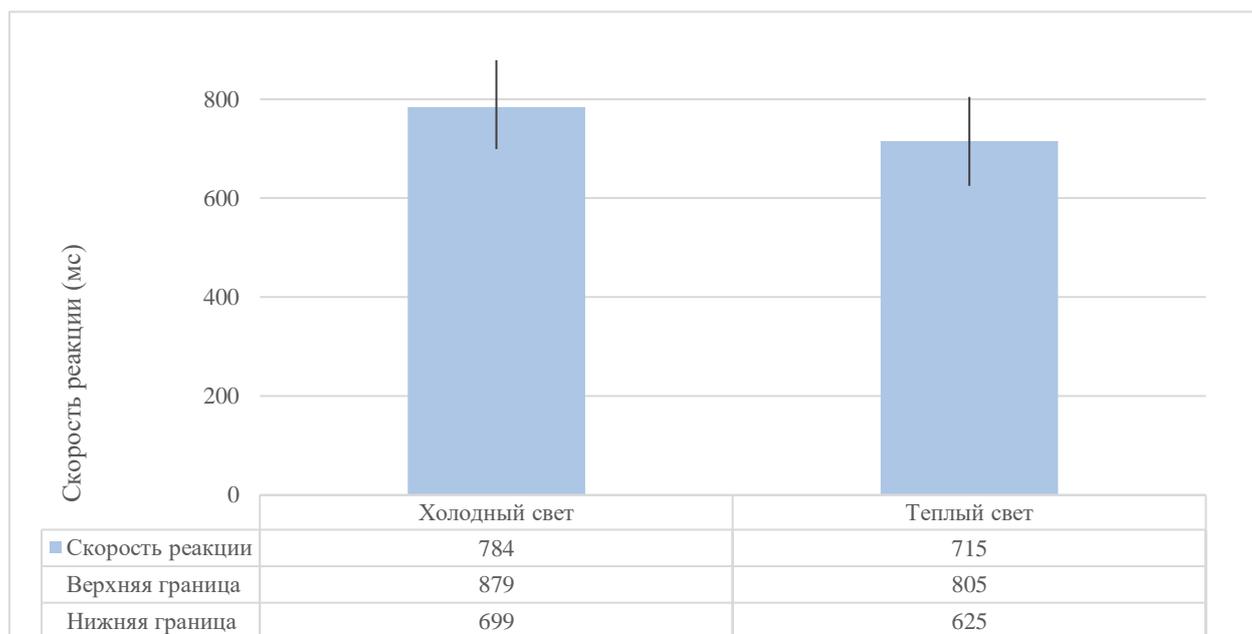


Рис. 12. Скорость реакции в зависимости от цветовой температуры экрана

## 2.2. Влияние номера серии на скорость реакции

Согласно результатам (Рис. 13), на скорость реакции фактор номера серии значимо не влиял:  $F(1,58) = 0,461$ ,  $p = 0,5$ . В первой серии участники показали следующие результаты:  $M = 757$  мс,  $SE = 32,14$ . Во второй серии участники отвечали чуть быстрее:  $M = 746$  мс,  $SE = 32,14$ .

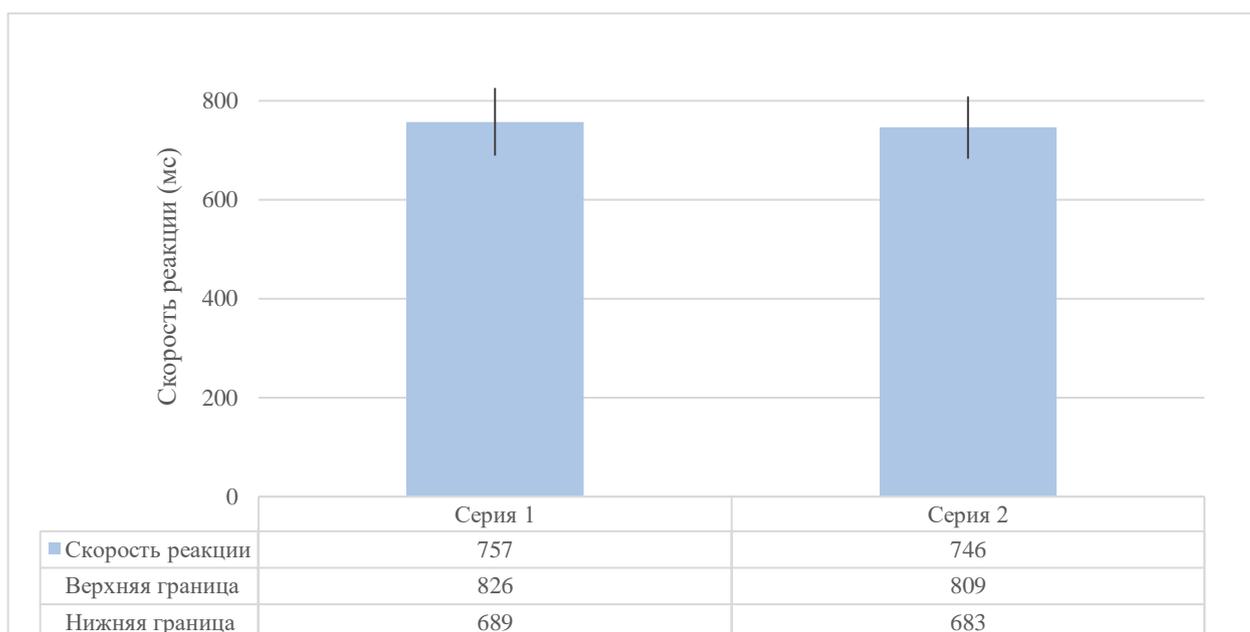


Рис. 13. Скорость реакции в зависимости от номера серии

В первой серии скорость реакции участников довольно сильно различается под воздействием холодного ( $M = 781$  мс,  $SE = 46,16$ ) и теплого света ( $M = 725$  мс,  $SE = 46,16$ ) (Рис. 14). Участники, которые смотрели на экран с низкой цветовой температурой, отвечали быстрее, чем участники, которые смотрели на экран с высокой цветовой температурой. Однако, данное различие не является статистически значимым:  $F(1,58) = 0,739$ ,  $p = 0,39$ .

Во второй серии в группе с холодным светом участники стали отвечать медленнее (Рис. 14), по сравнению с результатами в первой серии:  $M = 788$  мс,  $SE = 44,56$ . В то время как в группе с теплым светом участники стали отвечать быстрее:  $M = 705$  мс,  $SE = 44,56$ . Различие между группами во второй серии также не является статистически достоверным:  $F(1,58) = 1,716$ ,  $p = 0,19$ .

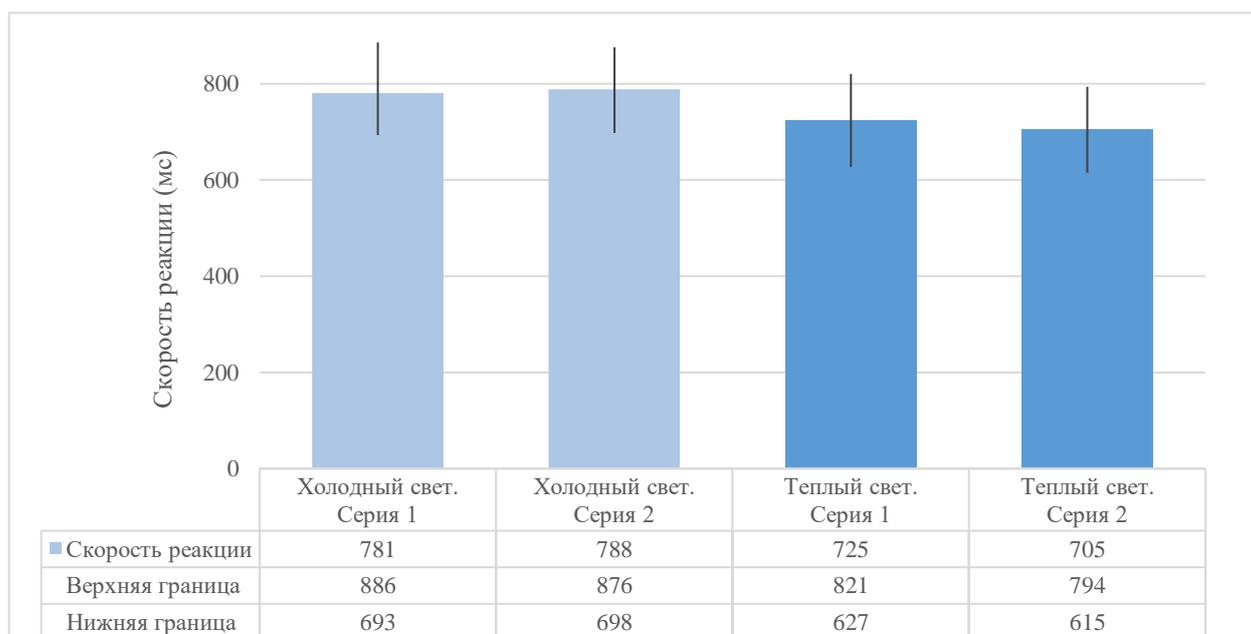


Рис. 14. Скорость реакции в зависимости от цветовой температуры экрана и номера серии

### 2.3. Влияние сложности изображения на скорость реакции

Фактор сложности изображения значимо влиял на скорость реакции (Рис. 15) испытуемых:  $F(1,58) = 4,27$ ,  $p = 0,043$ . На предъявление более сложных изображений с 16 однонаправленными решетками участники обеих групп показали следующие результаты:  $M = 758$  мс,  $SE = 32,06$ . Когда же участникам предъявляли менее сложные изображения с 24 однонаправленными решетками, участники отвечали быстрее:  $M = 746$  мс,  $SE = 32,06$ .

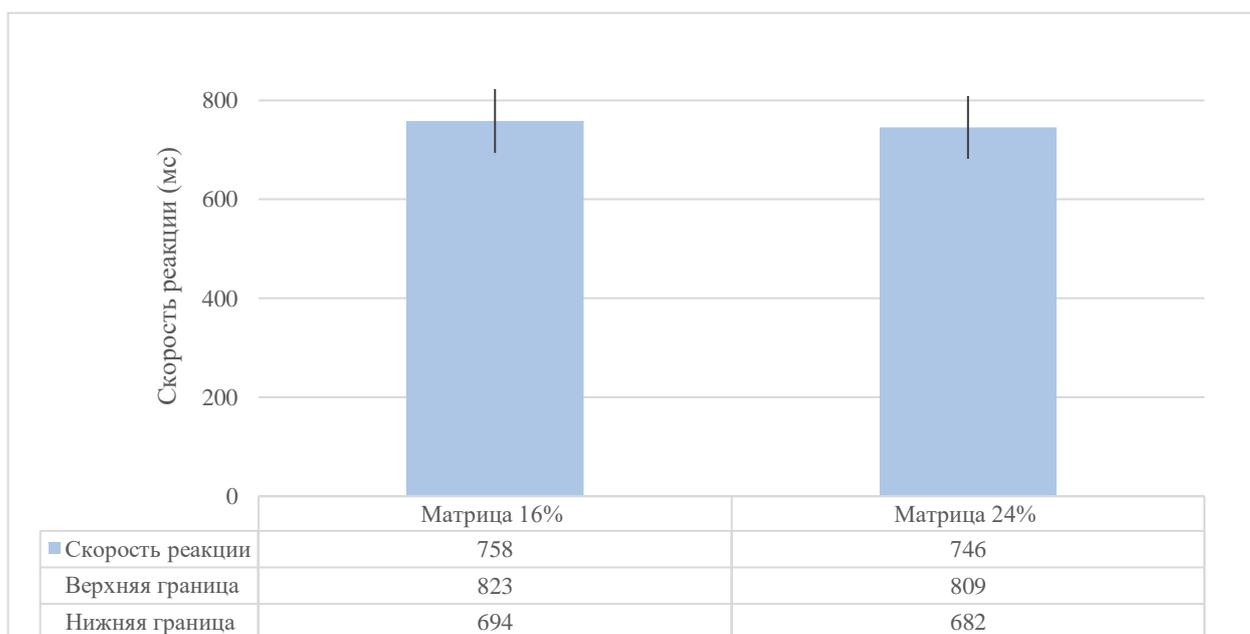


Рис. 15. Скорость реакции в зависимости от сложности изображения

Результаты в разных группах при предъявлении более сложных изображений различаются (Рис. 16). В условии с холодным светом  $M = 797$  мс,  $SE = 45,55$ . В условии с теплым светом  $M = 719$  мс,  $SE = 45,55$ . То есть участники в группе с теплым реагировали быстрее на изображения с 16 однонаправленными решетками, чем в группе с холодным светом. Однако, данное различие не является статистически достоверным:  $F(1,58) = 1,467$ ,  $p = 0,23$ .

При предъявлении менее сложных изображения с 24 однонаправленными линиями результаты в группах с разным светом так же различаются. В группе с холодным светом участники отвечали медленнее ( $M = 780$  мс,  $SE = 44,84$ ), чем в группе с теплым светом ( $M = 711$  мс,  $SE = 44,84$ ). Тем не менее, данное различие не является статистически значимым :  $F(1,58) = 1,223$ ,  $p = 0,27$ .

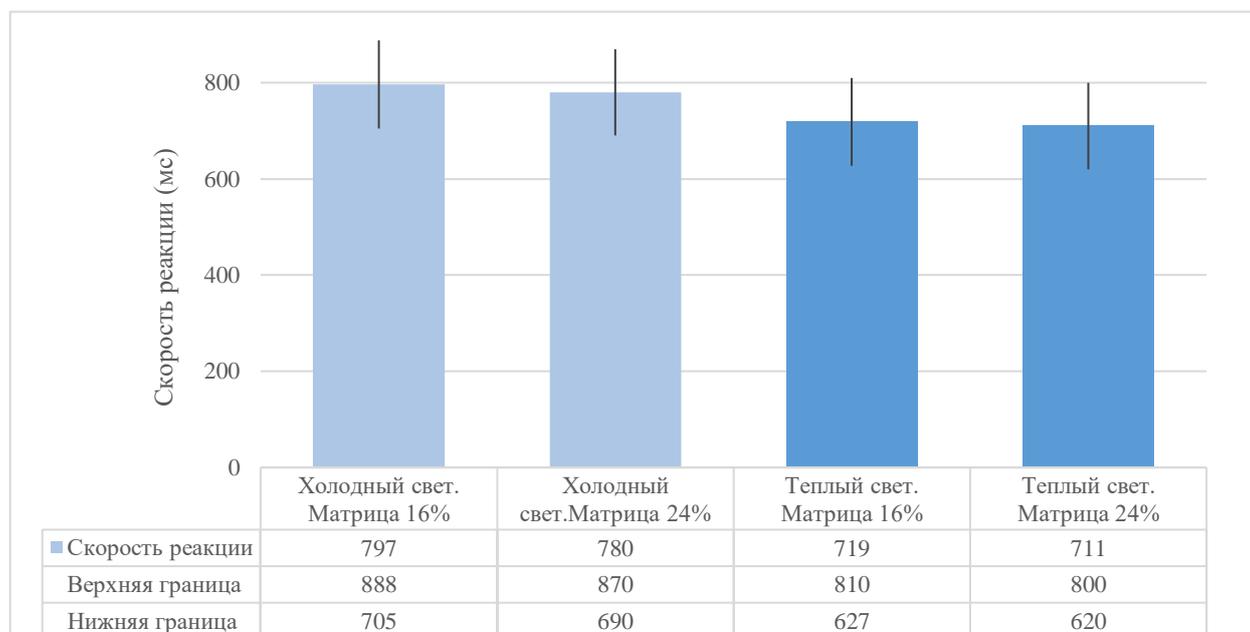


Рис. 16. Скорость реакции в зависимости от цветовой температуры и сложности изображения

#### *2.4. Влияние цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения на скорость реакции*

Результаты (Рис. 17) внутри группы с теплым светом получились следующие. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 726$  мс,  $SE = 48,02$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 723$  мс,  $SE = 49,31$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 712$  мс,  $SE = 46,2$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 698$  мс,  $SE = 43,49$ .

Результаты (Рис. 17) внутри группы с холодным светом по скорости реакции. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 789$  мс,  $SE = 48,02$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 791$  мс,  $SE = 49,31$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 805$  мс,  $SE = 46,2$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 770$  мс,  $SE = 43,49$ .

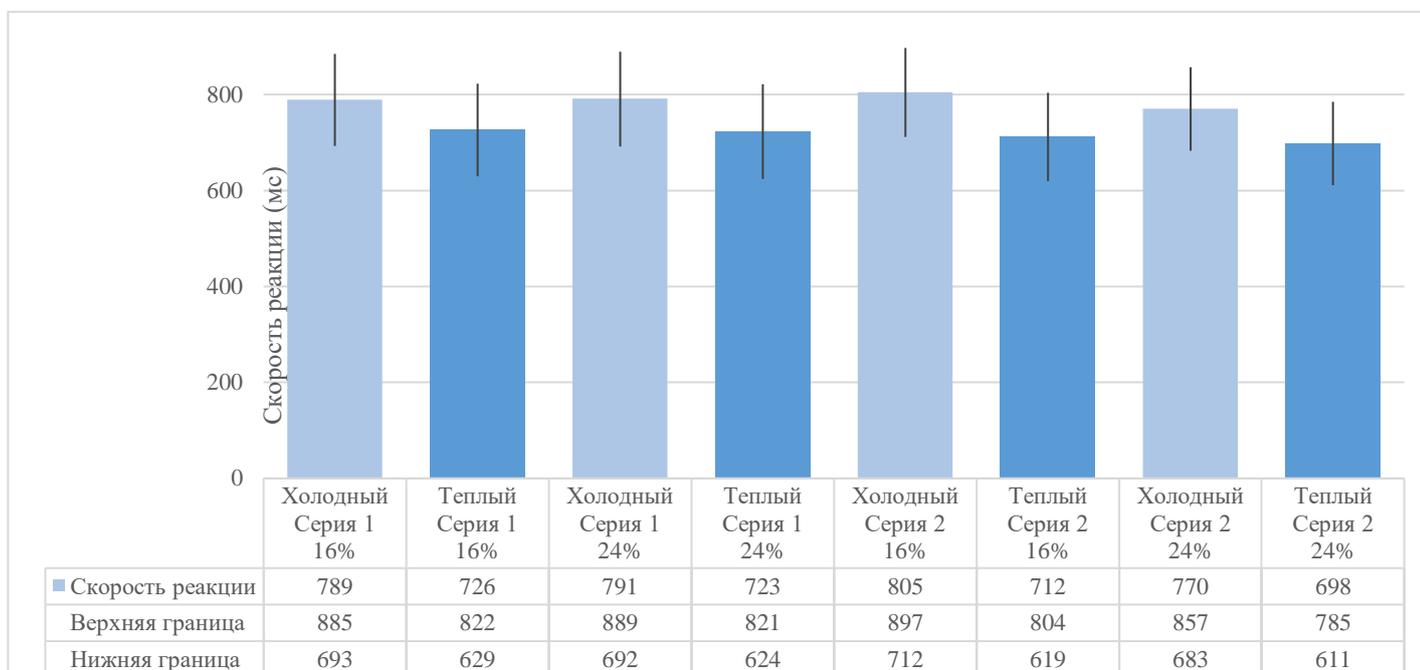


Рисунок 17. Скорость реакции в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения

Таким образом, результаты показывают, что на скорость реакции испытуемых значимо влиял фактор сложности изображения ( $F(1,58) = 4,27$ ,  $p = 0,043$ ). Различия же в результатах по фактору номера серии ( $F(1,58) = 0,461$ ,  $p = 0,5$ ) не являются статистически значимыми.

Что касается фактора цветности света, результаты показывают, что в группе с теплым светом участники отвечают в среднем быстрее на стимулы, чем участники в группе с холодным светом. Однако, данное различие не является статистически значимым:  $F(1,58) = 1,355$ ,  $p = 0,25$ .

### 3. Количество пропусков

Количество пропусков, допущенных участниками в ходе эксперимента, анализировалось в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения. Первая группа испытуемых подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 6500К (холодный свет). Вторая группа подвергалась воздействию цветовой температуры экрана в 2700К (теплый свет).

#### 3.1. Влияние цветовой температуры экрана на количество пропусков

Согласно полученным результатам (Рис. 18), участники, которые находились под воздействием теплого света, совершали почти такое же количество пропусков ( $M = 2,9$ ,  $SE = 0,435$ ), как те участники, которые находились под воздействием холодного света ( $M = 2,2$ ,  $SE = 0,435$ ). Разница между группами не является статистически значимой  $F(1,58) = 1,326$ ,  $p =$

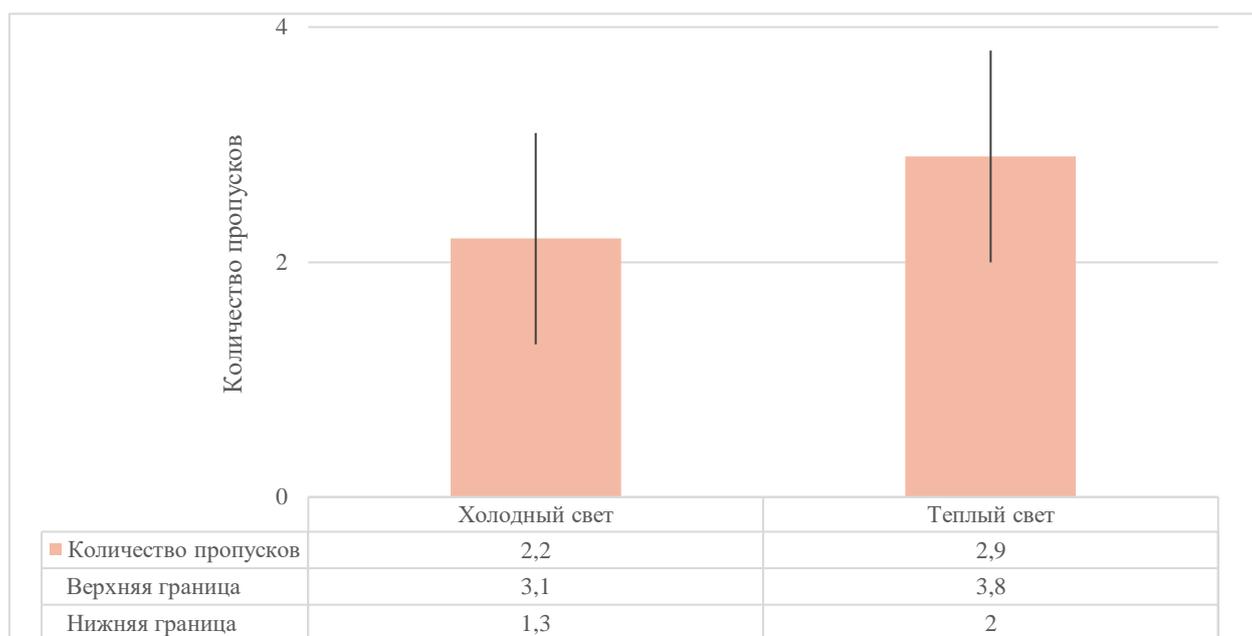


Рис. 18. Количество пропусков в зависимости от цветовой температуры экрана

0,25.

### 3.2. Влияние номера серии на количество пропусков

Фактор номера серии значимо влиял на количество пропусков:  $F(1,58) = 45,56$ ,  $p < 0,001$ . В первой серии участники совершали больше пропусков ( $M = 4,2$ ,  $SE = 0,5$ ), чем во второй серии ( $M = 0,9$ ,  $SE = 0,2$ ) (Рис. 19).

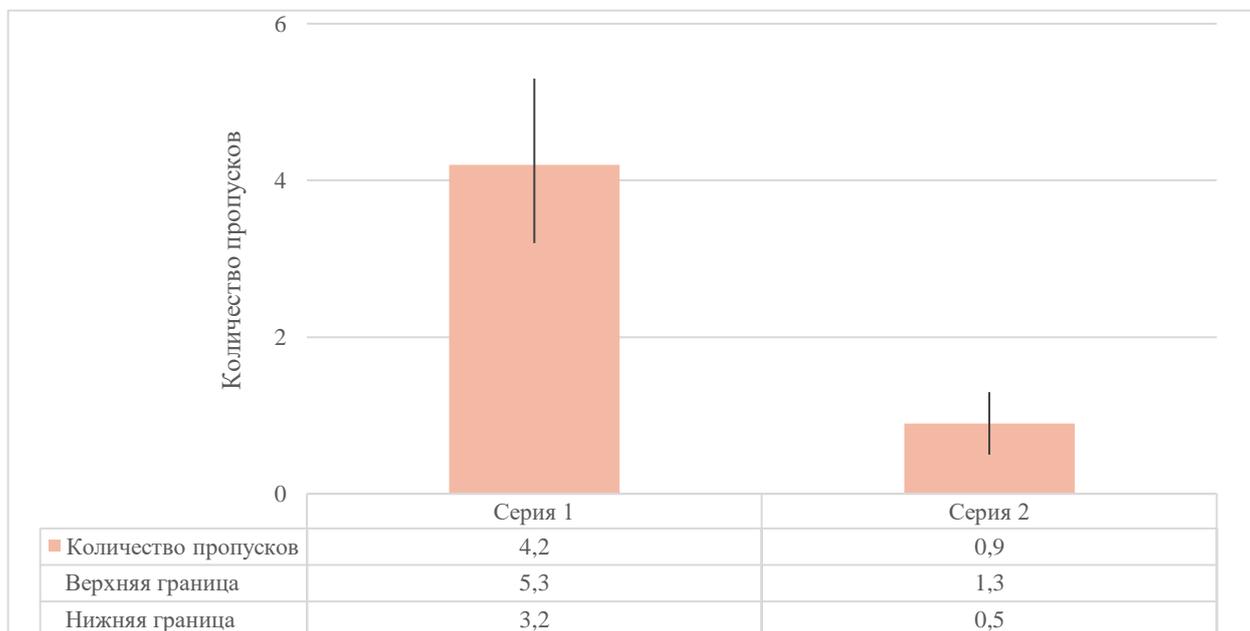


Рис. 19. Количество пропусков в зависимости от номера серии

В первой серии количество пропусков у участников незначительно различается под воздействием холодного ( $M = 3,8$ ,  $SE = 0,739$ ) и теплого света ( $M = 4,7$ ,  $SE = 0,739$ ) (Рис. 20). Данное различие не является статистически значимым:  $F(1,58) = 0,77$ ,  $p = 0,38$ .

Во второй серии в обеих группах участники стали совершать меньше пропусков, по сравнению с результатами в первой серии (Рис. 20). В группе с холодным светом:  $M = 0,6$ ,  $SE = 0,28$ . В группе с теплым светом:  $M = 1,1$ ,  $SE = 0,283$ . Различие между группами во второй серии также не является статистически значимым:  $F(1,58) = 1,6$ ,  $p = 0,22$ .

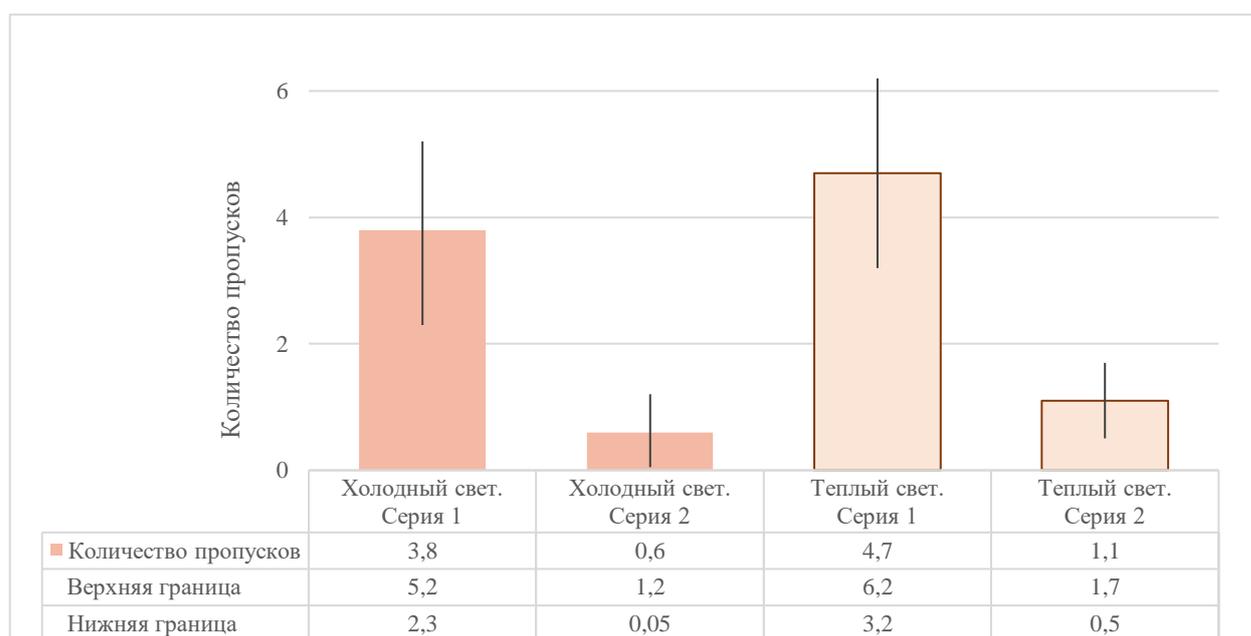


Рис. 20. Количество пропусков в зависимости от цветовой температуры экрана и номера серии

### 3.3. Влияние сложности изображения на количество пропусков

Согласно результатам (Рис. 21), на скорость реакции фактор сложности изображения значимо не влиял:  $F(1,58) = 0,936$ ,  $p = 0,337$ . На предъявление более сложных изображений с 16 однонаправленными линиями участники обеих групп показали следующие результаты:  $M = 2,6$ ,  $SE = 0,35$ . Когда же участникам предъявляли менее сложные изображения с 24 однонаправленными линиями, участники совершали почти такое же количество пропусков:  $M = 2,5$ ,  $SE = 0,29$ .

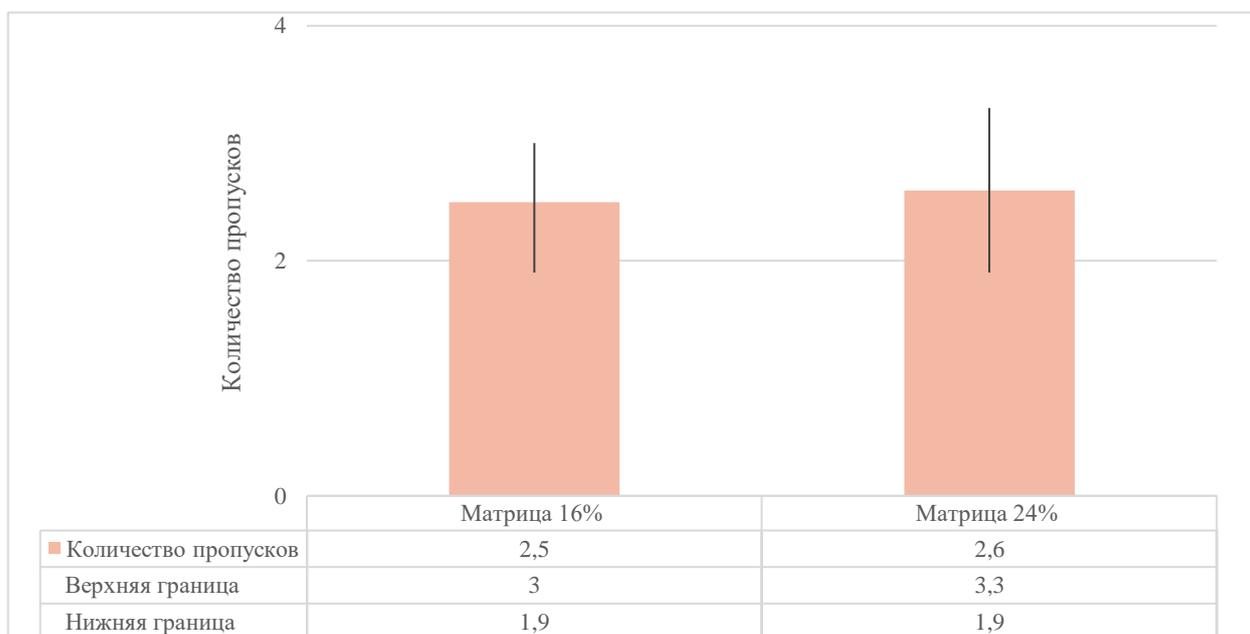


Рис. 21. Количество пропусков в зависимости от сложности изображения

Результаты по количеству пропусков в группах при предъявлении более сложных изображений (Рис. 22). В условии с холодным светом  $M = 2,23$ ,  $SE = 0,409$ . В условии с теплым светом  $M = 2,7$ ,  $SE = 0,409$ . Разница между группами не является статистически достоверной:  $F(1,58) = 0,605$ ,  $p = 0,44$ .

При предъявлении менее сложных изображений с 24 однонаправленными линиями результаты (Рис. 22) по количеству пропусков в группах с разным светом немного различаются. В группе с холодным светом  $M = 2,15$ ,  $SE = 0,494$ , в группе с теплым светом  $M = 3,1$ ,  $SE = 0,494$ . Данная разница не является статистически значимой:  $F(1,58) = 1,9$ ,  $p = 0,17$ .

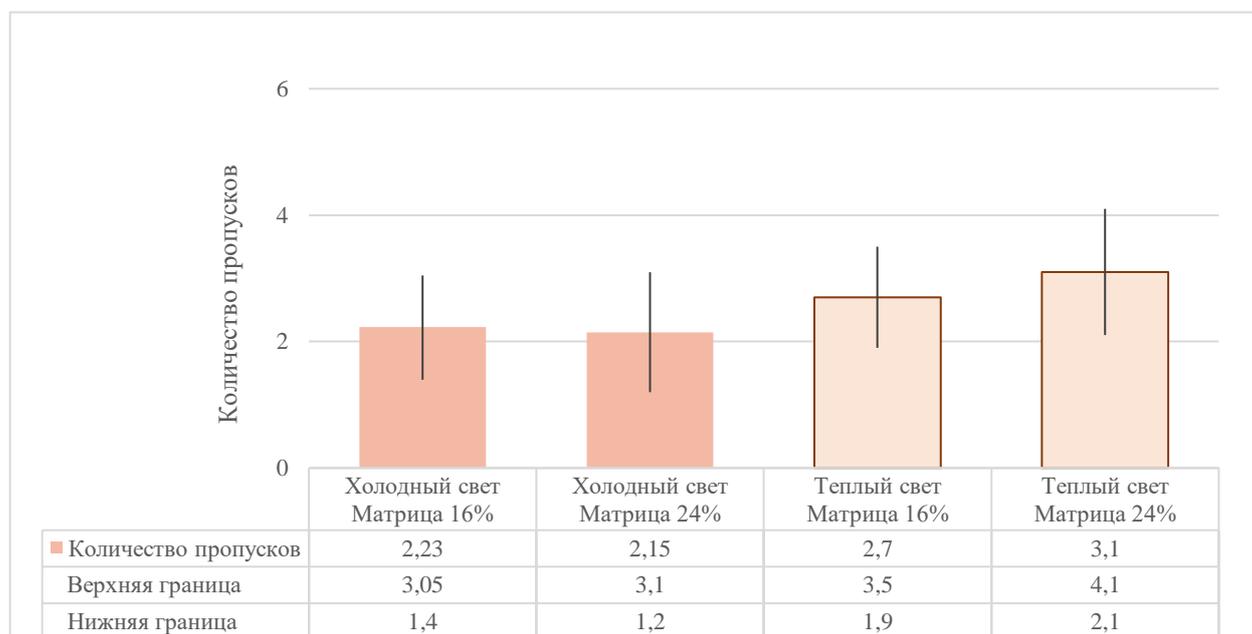


Рис. 22. Количество пропусков в зависимости от цветовой температуры и сложности изображения

### 3.4. Влияние цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения на количество пропусков

Результаты (Рис. 23) внутри группы с теплым светом получились следующие. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 4$  пропуска,  $SE = 0,623$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 5,3$  пропуска,  $SE = 0,908$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 1,3$  пропуска,  $SE = 0,362$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 0,9$  пропуска,  $SE = 0,239$ .

Результаты (Рис. 23) внутри группы с холодным светом по скорости реакции. В первой серии при предъявлении более сложных изображений (16 однонаправленных решетки)  $M = 3,9$  пропуска,  $SE = 0,623$ ; при предъявлении менее сложных изображений (24 однонаправленные решетки)  $M = 3,6$  пропуска,  $SE = 0,908$ . Во второй серии при предъявлении более сложных изображений  $M = 0,9$  пропуска,  $SE = 0,362$ ; при предъявлении менее сложных изображений  $M = 0,4$  пропуска,  $SE = 0,239$ .

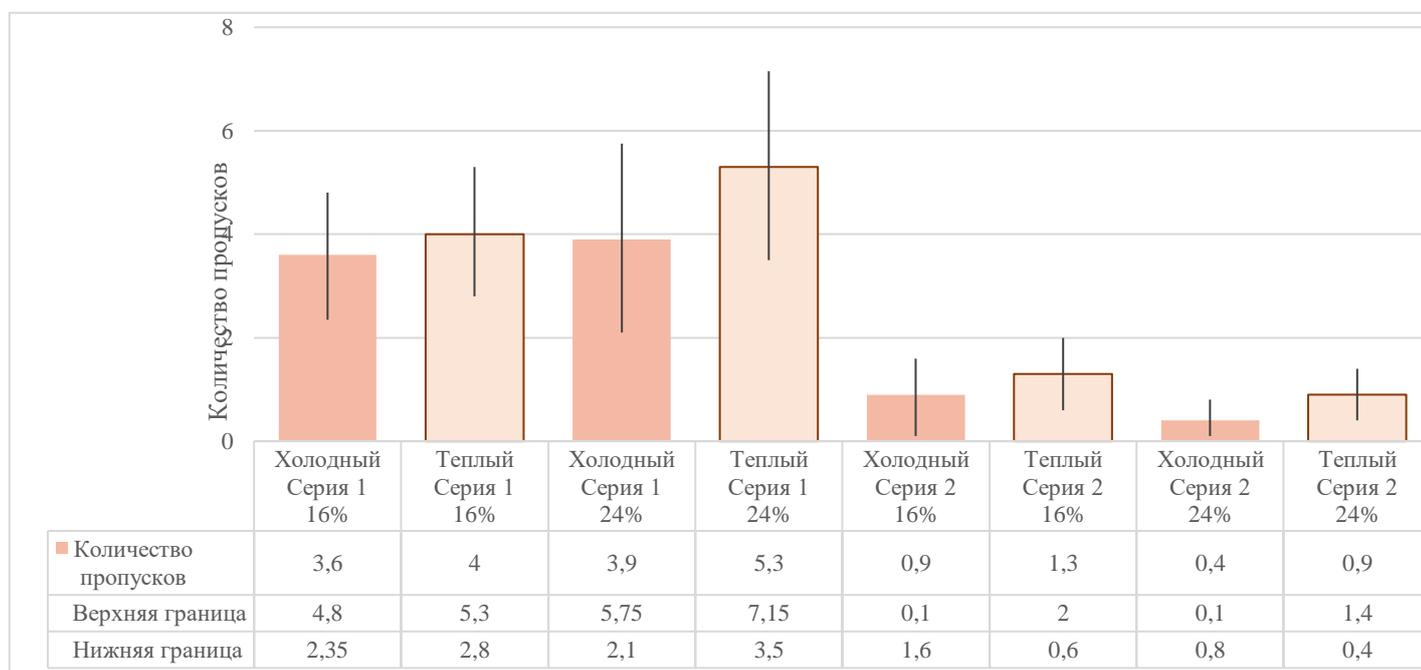


Рисунок 23. Количество пропусков в зависимости от цветовой температуры экрана, номера серии и сложности изображения

Таким образом, результаты показывают, что на количество пропусков испытуемых значимо влиял фактор номера серии ( $F(1,58) = 45,56, p < 0,001$ ). Различие же в результатах по фактору сложности изображения ( $F(1,58) = 0,936, p = 0,337$ ) не является статистически достоверным.

Что же касается фактора цветности света, результаты показали, что участники из группы с теплым светом в среднем совершали чуть больше пропусков, чем участники из группы с холодным светом. Однако, разница между группами не является статистически значимой  $F(1,58) = 1,326, p = 0,25$

## Обсуждение результатов

Полученные результаты говорят о том, что на процент правильных ответов, а также на скорость реакции испытуемых значимо влияет сложность задачи (пространственная упорядоченность тестовой матрицы). То есть, на предъявление более сложных (менее упорядоченных) изображений участники отвечали медленнее, а также давали меньше правильных ответов.

Кроме этого, результаты показывают, что на процент правильных ответов, а также на количество пропусков у испытуемых значимо влияет номер серии. Участники в первой серии давали меньше правильных ответов, а также совершали больше пропусков, по сравнению со второй серией. То есть, наблюдается эффект научения. Можно предположить, что возможное влияние цветовой температуры экрана на параметры выполнения испытуемыми тестовой задачи нивелировалось эффектом научения. Если бы испытуемые, например, за день или два до исследования прошли тренировочную сессию, в результате которой достигли стабильного уровня выполнения предложенной задачи, в исследовании нам, возможно, удалось бы выявить влияние цветовой температуры монитора на успешность решения задачи или время реакции. Однако в рамках данного исследования у нас не было возможности проводить такое обучение каждого испытуемого.

Нами не было обнаружено значимого влияния цветовой температуры экрана ни на один из измеряемых параметров. Возможной причиной является недостаточное время воздействия светом на испытуемых. Согласно, исследованиям внутренних светочувствительных ганглиозных клеток сетчатки (ipRGCs), вырабатывающих фотопигмент меланопсин, эффект от синего света достигается в полной мере приблизительно через двадцать минут после начала воздействия (*Vandewalle et al., 2009*). Таким образом, эффект от воздействия синего света мог быть не обнаружен в данном исследовании из-за недостаточного времени воздействия светом на

испытуемых (время эксперимента составляло двадцать минут). Стоит, наверное, объяснить, почему у нас такое время – при проведении большинства психологических исследований время взаимодействия испытуемого с монитором обычно составляет не более 20 минут.

Еще один фактор, который следует учитывать при проведении исследования влияния цветовой температуры экрана на работу испытуемых – тип предъявляемых заданий. Согласно *Chellappa et al. (2011)*, синий свет оказывал наибольшее влияние в заданиях, требующих постоянного внимания, по сравнению с заданиями на исполнительные функции. О влиянии типа задач в такого рода исследованиях говорят и другие ученые (*Huiberts et al., 2015*). Задача, которую решали испытуемые в нашем исследовании, относится как раз к такому типу (требует постоянного сосредоточенного внимания на стимулах).

Помимо типа заданий на эффект от цветовой температуры экрана могло повлиять время проведения эксперимента (*Rautkyla et al., 2010*). Эксперимент проводился с 11:00 до 20:00, то есть, в дневное и вечернее время. Отметим, что в исследованиях, описанных в литературе, эксперименты проходили в различное время дня: утреннее (*Münch et al., 2016; Hartstein et al., 2017*), вечернее (*Heath et al., 2014; Chellappa et al., 2011*), и ночное (*Motamedzadeh et al., 2017*).

Помимо внешних факторов, на результаты эксперимента могли повлиять характеристики участников, такие как хронотип и пол. Согласно исследованиям, хронотип может влиять на производительность выполнения различных когнитивных задач, например, задач на внимание и когнитивную гибкость (*Schmidt et al., 2007*). Пол также может влиять на выполнение когнитивных задач. Согласно исследованию, *Hartstein et al. (2017)*, участники разного пола под воздействием синего света показали различные результаты:

женщины отвечали быстрее в заданиях на переключении задач, а мужчины отвечали быстрее в заданиях на внимание go/no-go task.

Результаты этих исследований мы учли при анализе полученных данных. В нашем исследовании участники заполняли опросник Хорна-Остберга на определение хронотипа. Данные этих опросников мы использовали в дальнейшем при анализе результатов. В обеих группах оказалось одинаковое количество участников с разными хронотипами. Кроме этого, не было обнаружено влияние хронотипа на результаты. О влиянии пола на результаты мы не можем что-либо утверждать, так как среди шестидесяти участников было всего десять мужчин. Тем не менее, в обеих группах было одинаковое соотношение мужчин и женщин.

## **Заключение**

В данной работе исследовалось влияние цветовой температуры экрана на параметры выполнения когнитивных задач: процент правильных ответов, скорость реакции и количество пропусков.

В проведенном исследовании не было обнаружено значимого влияния цветовой температуры на анализируемые показатели.

В обеих группах (теплый и холодный свет) мы наблюдали выраженный эффект научения. Испытуемые давали больше правильных ответов и реже пропускали целевой стимул во второй серии по сравнению с первой.

Можно предположить, что для выявления влияния цветовой температуры монитора на выполнение когнитивных задач необходимо более длительное воздействие светом, а также, возможно, предварительное обучение испытуемых выполнению тестовых заданий для того, чтобы исключить эффект научения.

## Библиография

*Ámundadóttir M. L., Lockley S. W., Andersen M.* Unified framework to evaluate non-visual spectral effectiveness of light for human health //Lighting Research & Technology. – 2017. – Т. 49. – №. 6. – С. 673-696.

*Baek H., Min B. K.* Blue light aids in coping with the post-lunch dip: an EEG study //Ergonomics. – 2015. – Т. 58. – №. 5. – С. 803-810.

*Beaven C. M., Ekström J.* A comparison of blue light and caffeine effects on cognitive function and alertness in humans //PloS one. – 2013. – Т. 8. – №. 10. – С. e76707.

*Berson D. M., Dunn F. A., Takao M.* Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock //Science. – 2002. – Т. 295. – №. 5557. – С. 1070-1073.

*Brainard G. C., Hanifin J. P.* Short-wavelength enrichment of polychromatic light enhances human melatonin suppression potency //Journal of pineal research. – 2015. – Т. 58. – №. 3. – С. 352-361.

*Cajochen C., Frey S., Anders D., Spati J., Bues M., Pross A., Mager R., Wirz-Gustice A., Stefani O.* Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance //Journal of Applied Physiology. – 2011. – Т. 110. – №. 5. – С. 1432-1438.

*Cajochen C., Munch M., Kobińska S., Krauchi K., Steiner R., Oelhafen P.* High sensitivity of human melatonin, alertness, thermoregulation, and heart rate to short wavelength light //The journal of clinical endocrinology & metabolism. – 2005. – Т. 90. – №. 3. – С. 1311-1316.

*Chellappa S. L., Steiner R., Blattner P., Oelhafen P., Gotz T., Cajochen C.* Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: can

blue-enriched light keep us alert? //PloS one. – 2011. – T. 6. – №. 1. – C. e16429.

*Czeisler C. A., Shanahan T. L., Klerman E. B., Martens H., Brotman D. J., Emens J. S., Klein T., Rizzo J. F.* Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light //New England Journal of Medicine. – 1995. – T. 332. – №. 1. – C. 6-11.

*Enezi J., Revell V., Brown T., Wynne J., Schlangen L., Lucas R. A.* “melanopic” spectral efficiency function predicts the sensitivity of melanopsin photoreceptors to polychromatic lights //Journal of Biological Rhythms. – 2011. – T. 26. – №. 4. – C. 314-323.

*Ferlazzo F., Piccardi L., Burattini C., Barbalace M., Giannini A. M., Bisegna F.* Effects of new light sources on task switching and mental rotation performance //Journal of Environmental Psychology. – 2014. – T. 39. – C. 92-100.

*Figueiro M. G., Wood B., Plitnick B., Rea M. S.* The impact of light from computer monitors on the melatonin levels in college students //Biog Amines. – 2011. – T. 25. – C. 106-116.

*Haidarimoghadam R., Kazemi R., Motamedzadeh M., Golmohamadi R., Soltanian A., Zoghipaydar M. R.* The effects of consecutive night shifts and shift length on cognitive performance and sleepiness: a field study //International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. – 2017. – T. 23. – №. 2. – C. 251-258.

*Hartstein L. E., Durniak M. T., Karlicek Jr, R. F., Berthier N. E.* A comparison of the effects of correlated colour temperature and gender on cognitive task performance //Lighting Research & Technology. – 2017. – C. 147

*Hattar S., Liao H. W., Takao M., Berson D. M., Yau K. W.* Melanopsin-containing retinal ganglion cells: architecture, projections, and intrinsic photosensitivity //Science. – 2002. – T. 295. – №. 5557. – C. 1065-1070.

*Hawes B. K, Brunye T. T., Mahoney C. R., Sullivan J. M., Aall C. D.* Effects of four workplace lighting technologies on perception, cognition and affective state //International Journal of Industrial Ergonomics. – 2012. – T. 42. – №. 1. – C. 122-128.

*Heath M., Sutherland C., Bartel K., Gradisar M., Williamson P., Lovato N., Micic G.* Does one hour of bright or short-wavelength filtered tablet screenlight have a meaningful effect on adolescents' pre-bedtime alertness, sleep, and daytime functioning? //Chronobiology international. – 2014. – T. 31. – №. 4. – C. 496-505.

*Huiberts L. M., Smolders K., De Kort Y. A. W.* Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance //Behavioural brain research. – 2015. – T. 294. – C. 234-245.

*Kazemi R., Haidarimoghadam R., Motamedzadeh M., Golmohamadi R., Soltanian A., Zoghipaydar M. R.* Effects of shift work on cognitive performance, sleep quality, and sleepiness among petrochemical control room operators //Journal of circadian rhythms. – 2016. – T. 14.

*Küller R., Ballal S., Laike T., Mikellides B., Tonello G.* The impact of light and colour on psychological mood: a cross-cultural study of indoor work environments //Ergonomics. – 2006. – T. 49. – №. 14. – C. 1496-1507.

*Lehrl S., Gerstmeyer K., Jacob J. H., Frieling H., Henkel A. W., Meyrer R., Bleich, S.* Blue light improves cognitive performance //Journal of neural transmission. – 2007. – T. 114. – №. 4. – C. 457-460.

*Lockley S. W., Evans E. E., Scheer F. A., Brainard G. C., Czeisler C. A., Aeschbach D.* Short-wavelength sensitivity for the direct effects of light on alertness, vigilance, and the waking electroencephalogram in humans //Sleep. – 2006. – T. 29. – №. 2. – C. 161-168.

*Motamedzadeh M., Golmohammadi R., Kazemi R., Heidarimoghadam R.* The effect of blue-enriched white light on cognitive performances and sleepiness of night-shift workers: A field study //Physiology & Behavior. – 2017. – T. 177. – C. 208-214.

*Münch M., Nowozin C., Regente J., Bes F., De Zeeuw J., Hädel S., Kunz D.* Blue-Enriched Morning Light as a Countermeasure to Light at the Wrong Time: Effects on Cognition, Sleepiness, Sleep, and Circadian Phase //Neuropsychobiology. – 2016. – T. 74. – №. 4. – C. 207-218.

*Phipps-Nelson J., Redman J. R., Schlangen L. J., Rajaratnam S. M.* Blue light exposure reduces objective measures of sleepiness during prolonged nighttime performance testing //Chronobiology International. – 2009. – T. 26. – №. 5. – C. 891-912.

*Provencio I., Rodriguez I. R., Jiang G., Hayes W. P., Moreira E. F., Rollag M. D.* A novel human opsin in the inner retina //Journal of Neuroscience. – 2000. – T. 20. – №. 2. – C. 600-605.

*Rautkylä E., Puolakka M., Tetri E., Halonen L.* Effects of correlated colour temperature and timing of light exposure on daytime alertness in lecture environments //Journal of Light & Visual Environment. – 2010. – T. 34. – №. 2. – C. 59-68.

*Rouch I., Wild P., Ansiau D., & Marquié J. C.* Shiftwork experience, age and cognitive performance //Ergonomics. – 2005. – T. 48. – №. 10. – C. 1282-1293.

*Schmidt C., Collette F., Cajochen C., Peigneux P.* A time to think: circadian rhythms in human cognition //Cognitive neuropsychology. – 2007. – Т. 24. – №. 7. – С. 755-789.

*Van Bommel W. J. M.* Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning for lighting for work //Applied ergonomics. – 2006. – Т. 37. – №. 4. – С. 461-466.

*Vandewalle G., Maquet P., Dijk D. J.* Blue light stimulates cognitive brain activity in visually blind individuals //Journal of cognitive neuroscience. – 2013. – Т. 25. – №. 12. – С. 2072-2085.

*Vandewalle G., Maquet P., Dijk D. J.* Light as a modulator of cognitive brain function //Trends in cognitive sciences. – 2009. – Т. 13. – №. 10. – С. 429-438.

*Viola A. U., James L. M., Schlangen L. J., Dijk D. J.* Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality //Scandinavian journal of work, environment & health. – 2008. – С. 297-306.

*Wood B., Rea M. S., Plitnick B., Figueiro M. G.* Light level and duration of exposure determine the impact of self-luminous tablets on melatonin suppression //Applied ergonomics. – 2013. – Т. 44. – №. 2. – С. 237-240.

*Дойников, А.С.* Цветовая температура // Физическая энциклопедия / Д. М. Алексеев; под общ. ред. А. М. Прохорова. – М.: Советская энциклопедия, 1999. – Т. 5. – 692 с.

*Иоффе К. И.* Влияние спектра излучения различных источников света на организм человека //Светотехника и электроэнергетика. – 2010. – №. 3-4. – С. 58-61.

*Сельченкова Т. В., Хараузов А. К., Шелепин Ю. Е.*  
Электрофизиологические и психофизические исследования влияния  
длительности предъявления текстур на пороги распознавания  
//Российский физиологический журнал им. ИМ Сеченова. – 2011. – Т. 97.  
– №. 3. – С. 316-329.

*Стреляу Я.* Роль темперамента в психическом развитии: пер. с польского.  
– Прогресс, 1982.

*Хараузов А.К., Шелепин Ю.Е., Пронин С.В., Сельченкова Т.В., Носков Я.А.*  
Электрофизиологическое исследование механизмов распознавания  
текстур //Российский физиологический журнал им. ИМ Сеченова. – 2007.  
– Т. 93. – №. 1. – С. 3-13.

*Шелепин Ю.Е., Фокин В.А., Хараузов А.К., Пронин С.В., Чихман В.Н.*  
Локализация центра принятия решений при восприятии формы  
зрительных стимулов //Доклады Академии наук. – Федеральное  
государственное унитарное предприятие Академический научно-  
издательский, производственно-полиграфический и  
книгораспространительский центр Российской академии наук  
Издательство Наука, 2009. – Т. 429. – №. 6. – С. 835-837.

## Приложения

Спасибо, что согласились  
принять участие в эксперименте!

Вам будут предъявляться матрицы, состоящие из 100  
разнонаправленных элементов - решеток с низким контрастом.

В каждой матрице есть доминирующее направление  
(вертикальное или горизонтальное), в котором ориентировано  
большинство элементов матрицы. Ваша задача - определить  
доминирующую ориентацию каждой матрицы, нажав на левую  
(Вертикаль) или правую (Горизонталь) кнопку мыши.  
Если Вы готовы начать, нажмите, пожалуйста, левую кнопку мыши.

*Приложение 1. Инструкция к заданию*