

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Научная статья
<https://doi.org/10.11621/LPJ-23-22>

УДК 159.938.26

Психофизический анализ возникновения кожной чувствительности к световому воздействию: пилотное исследование

В.А. Разживин¹, А.И. Ковалев^{✉1}, А.П. Разживин¹

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

✉ artem.kovalev.msu@mail.ru

Резюме

Актуальность. Исследование механизмов возникновения ощущений при воздействии светового стимула на человека является классической задачей для психологической науки. Однако, если зрительные реакции достаточно хорошо изучены, то переживанию ощущений, возникающих при световом воздействии на кожную поверхность, уделялось небольшое внимание, несмотря на феноменальные результаты, полученные в известной серии экспериментов отечественного психолога А.Н. Леонтьева. Задача исследования кожно-оптической чувствительности с использованием современной элементной базы экспериментального оборудования является актуальной с точки зрения развития общепсихологической теории деятельности и понимания протекания сенсорно-перцептивных процессов формирования ощущений вследствие светового воздействия.

Целью исследования стало изучение способности испытуемых реагировать на воздействие света на кожную поверхность.

Методы. Использовалась специально сконструированная для целей исследования экспериментальная установка, включающая в себя светодиодный источник света и управляющую программу. Участники определяли, в какой из двух последовательных проб на кожу ладони предъявлялся световой стимул, методом двухальтернативного вынужденного выбора. Основной эксперимент состоял из трех серий: сначала были предъявлены 10 циклов для фиксации исходного состояния испытуемого; затем следовали 100 циклов основной серии предъявления стимулов; далее — 10 циклов для фиксации конечного состояния испытуемого.

Выборка. В эксперименте приняли участие 12 человек.

Результаты показали, что количество правильных ответов при определении фазы цикла, соответствующей включению светодиода, значимо больше 50 % ($t = 10,992$, $df = 1414$, $p < 0,001$).

Выводы. Подтверждены выводы А.Н. Леонтьева и Н.Б. Познанской о возможности формирования кожной чувствительности к световому воздействию. Предложена биофизическая гипотеза, объясняющая полученный результат.

Ключевые слова: кожная чувствительность, световое излучение, тепловое излучение, кожно-оптическое чувство, терморцепция.

Информация о финансировании. Исследование выполнено в рамках Научной школы МГУ имени М.В. Ломоносова «Мозг, когнитивные системы и искусственный интеллект».

Для цитирования: Разживин В.А., Ковалев А.И., Разживин А.П. Психофизический анализ возникновения кожной чувствительности к световому воздействию: пилотное исследование // Вестник Московского университета. Серия 14. Психология. 2023. Т. 46, № 2. С. 183–201. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-22>

EMPIRICAL STUDIES

Scientific Article
<https://doi.org/10.11621/LPJ-23-22>

Psychophysical Analysis of the Skin Sensitivity to Light Exposure: a Pilot Study

Vladislav A. Razzhivin¹, Artem I. Kovalev¹✉, Andrei P. Razjivin¹

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

✉ artem.kovalev.msu@mail.ru

Abstract

Background. The study of the mechanisms of sensation, primarily visual, emergence under the influence of a light stimulus on a person is a classic task for psychological science. At the same time, little attention has been paid to the sensations arising from light exposure of the skin surface, despite the surprising results obtained in a well-known series of experiments by Russian psychologist A.N. Leontiev. The task of studying skin-optical sensitivity with the modern element base of experimental equipment is relevant from the point of view of the development of the general psychological theory of activity and understanding sensory-perceptual processes of sensation formation due to light exposure.

Objective of the study was to investigate the ability of subjects to recognize the effect of light on their skin surface.

Methods. A specially designed experimental setup was used for the purpose of the study, which included a LED light source and a control programme. The experimental procedure involved the psychophysical method of two-alternative forced choice. The main experiment consisted of three series of cycles for each participant: first, 10 cycles were presented to fix the initial state; 100 cycles followed to train the subject; then, 10 cycles were used to fix the final state.

Sample. 12 participants took part in the experiment.

Results. showed that the number of correct answers when determining the cycle phase corresponding to the LED switching on, is significantly more than 50% ($t = 10,992$, $df = 1414$, $p < 0.001$).

Conclusion. The conclusions of A.N. Leontiev and N.B. Poznanskaya about the possibility of skin sensitivity to light exposure were confirmed. A biophysical hypothesis is proposed to explain the result.

Keywords: skin perception, thermal radiation, light radiation, skin-optical sense, thermoreception.

Funding. The research was supported by The Scientific School of Lomonosov Moscow State University “Brain, cognitive systems and artificial intelligence”

*For citation: Razzhivin, V.A., Kovalev, A.I., Razjivin, A.P. (2023). Psychophysical Analysis of the Skin Sensitivity to Light Exposure: a Pilot Study. *Lomonosov Psychology Journal*, 46 (2), 183–201. <https://doi.org/10.11621/LPJ-23-22>*

Введение

Изучение механизмов возникновения ощущений у человека под воздействием светового стимула является классической задачей для психологии и нейронауки (Arnheiter, 1998). Однако подавляющее большинство работ в этой области посвящено исследованию воздействия света на фоторецепторы и вопросам зрительного восприятия (Ramirez et al., 2011). При этом более 80 лет назад механизмы возникновения ощущений при световом раздражении кожной поверхности тела человека рассматривались в ракурсе формирования чувствительности у живых организмов в известных работах А.Н. Леонтьева (Леонтьев, 1940). Результаты, полученные А.Н. Леонтьевым, позволили сформулировать научные проблемы исследования механизмов возникновения чувствительности к стимулу, действие которого ранее не приводило к появлению каких-либо ощущений, а также вопросы о психофизиологических процессах, которые эти механизмы обе-

спечивают. Тем не менее эта проблематика на сегодняшний день не только остается недостаточно исследованной, но и не представлена заметным числом научных изысканий. Поэтому продолжение экспериментов в русле подхода А.Н. Леонтьева или их репликация на новом техническом уровне является важной и актуальной задачей с точки зрения как развития общепсихологической теории деятельности, так и понимания сенсорно-перцептивных механизмов такого явления, как кожно-оптическая чувствительность.

С практической точки зрения актуальной является задача оценки возможностей использования оптического воздействия в первую очередь в качестве сигнализирующего механизма для оперативной передачи информации человеку. Хорошо известны попытки предъявления такой информации посредством вибрации органов управления, например рулевого колеса при пересечении автомобилем линий разметки (Li et al., 2020), или применение слабого электрического тока в костюмах виртуальной реальности (Loughran, 2017). Однако тактильные ощущения обладают невысокой степенью дифференцированности и не всегда однозначны, поэтому существует задача расширения спектра возможных сигналов, в том числе с использованием других модальностей, например, путем действия светом на кожную поверхность. В этой связи изучение механизмов кожно-оптической чувствительности является перспективным.

Первые встречающиеся в литературе упоминания о кожной оптической чувствительности связаны с работами натурфилософа, химика, физика и богослова Р. Бойля и относятся к XVII веку. В одной из его книг (Boyle, 1664) упоминается 33-летний мужчина, Джон Вермаасен, полностью потерявший зрение в детстве. Данный мужчина, ощупывая пальцами, отличал друг от друга лоскуты одинаковой ткани, различающиеся по цвету (черный, белый, красный, синий, зеленый, желтый и серый). Важно отметить, что уже в этих работах в первую очередь рассматривался вопрос различения человеком объектов, окрашенных разными цветами, и, таким образом, была задана определенная методология подобных исследований. Форму чувствительности, при которой человек определял цвет объекта посредством прикосновения или потирания пальцами, можно классифицировать как контактную. Данная форма чувствительности принципиально отличается от восприятия человеком света различной длины волны, исходящего напрямую от источника, поскольку при контактной форме сам по себе источник оказывается фактически отгороженным от наблюдателя. Кроме контактной некоторые авторы

выделяют дистантную форму — распознавание цвета достигается поисковыми движениями руки над цветной поверхностью, а также проникающую — устанавливается цвет поверхности, находящейся за непрозрачным для видимого света экраном (Farage et al., 2019). Несмотря на наличие такой условной классификации, исследований, посвященных глубокому анализу возникновения ощущений при описанных формах взаимодействия светового стимула и поверхности кожи, было предпринято до сих пор недостаточно (Tsutsumi et al., 2009).

Первой попыткой системного научного исследования вопроса о чувствительности кожи к световому воздействию в СССР можно считать работы биофизика Н.Б. Познанской, одного из основателей космической биологии. В статье 1936 г. Н.Б. Познанская пишет: «Несмотря на большое количество исследований, посвященных температурному чувству, кожная чувствительность к лучистому теплу и вообще к лучистой энергии еще очень мало изучена» (Познанская, 1936, с. 368). В ее работах были определены две основные психофизические характеристики чувствительности кожи к световому воздействию — минимальное количество энергии, воспринимаемое испытуемыми (порог чувствительности), и минимальная различаемая разница интенсивности светового потока (порог различения). В экспериментах использовались два разных источника лучистой энергии — лампа «Соллюкс» (лампа накаливания) и электрическая печка, нагретая до красного каления. Первый источник испускал значительную часть энергии в виде светового излучения, а второй источник — в виде теплового излучения в области более 1 микрона (инфракрасный диапазон). Облучению подвергалась кожа на лопатке испытуемого. Как выяснилось в ходе этих экспериментов, абсолютная чувствительность кожи испытуемых, неподготовленных к этим видам воздействия (тепловому и световому), примерно одинаковая, если сравнивать эти воздействия по количеству переданной энергии (начала кривых) (рис. 1) (Познанская, 1938). Но обучение испытуемых позволяло добиться улучшения чувствительности к световому воздействию более чем в 14 раз, в то время как чувствительность к тепловому воздействию улучшалась только примерно в 3 раза. При этом наибольшая чувствительность к световому воздействию в экспериментах Н.Б. Познанской наблюдалась для видимой (зеленой) части спектра (Познанская, 1938). Эти эксперименты, выполненные в строгой психофизической парадигме, наглядно продемонстрировали важный факт существования обучения, или снижения порогов возникновения ощущений при световом воздействии на кожную поверхность.

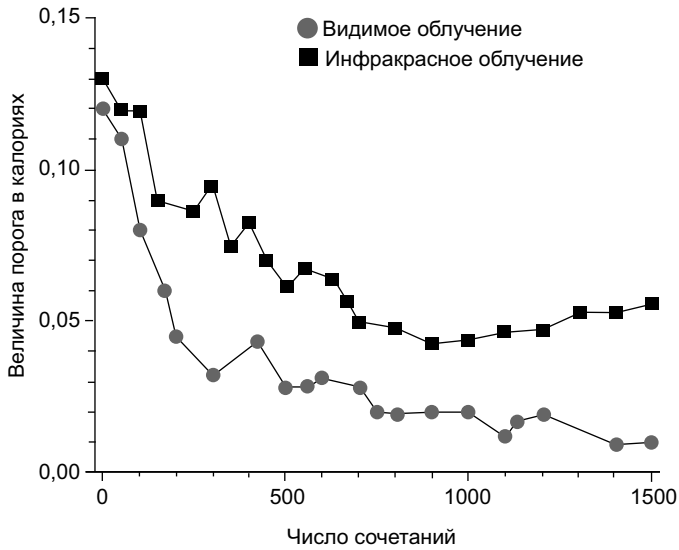


Рис. 1. Влияние тренировки на пороги абсолютной чувствительности к видимому и инфракрасному облучению

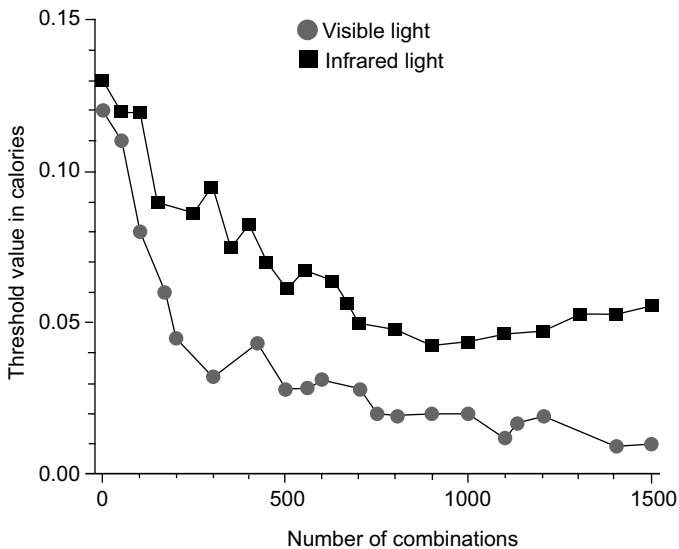


Fig. 1. Effect of training on thresholds of sensitivity to visible and infrared irradiation

Дальнейшее развитие данная тематика получила в известных работах А.Н. Леонтьева, во многом направленных именно на изучение процесса «возникновения чувствительности к световому воздействию» и условий, при которых эта чувствительность возникает (Леонтьев, 1940). Для целей экспериментов Алексей Николаевич использовал оригинальные экспериментальные установки. Ниже пример одной из них, приведенный в виде авторского рисунка из текста диссертации А.Н. Леонтьева (рис. 2). Принципиально важный результат, полученный в серии экспериментов, в том числе в совместных экспериментах с Н.Б. Познанской, как известно, заключается в формулировке вывода о возникновении кожной чувствительности к световому воздействию в условиях активного поиска сигнала раздражителя.

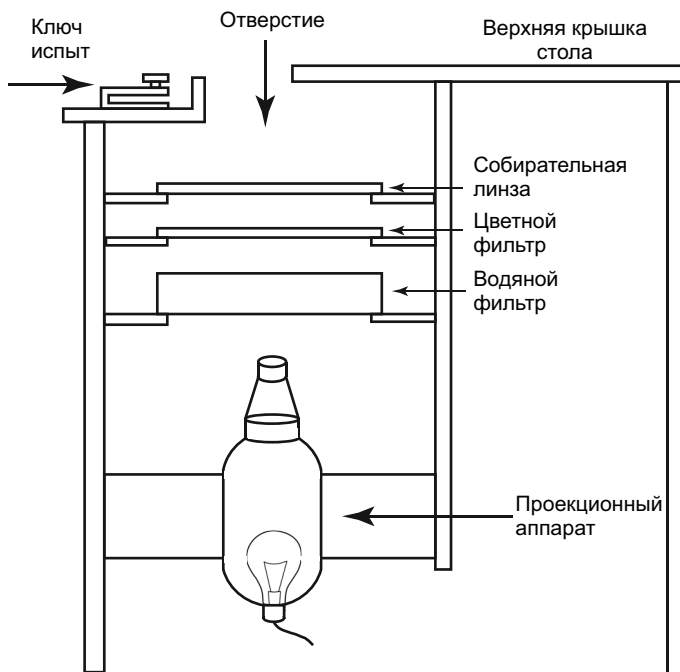


Рис. 2. Схема экспериментальной установки первого исследования А.Н. Леонтьева

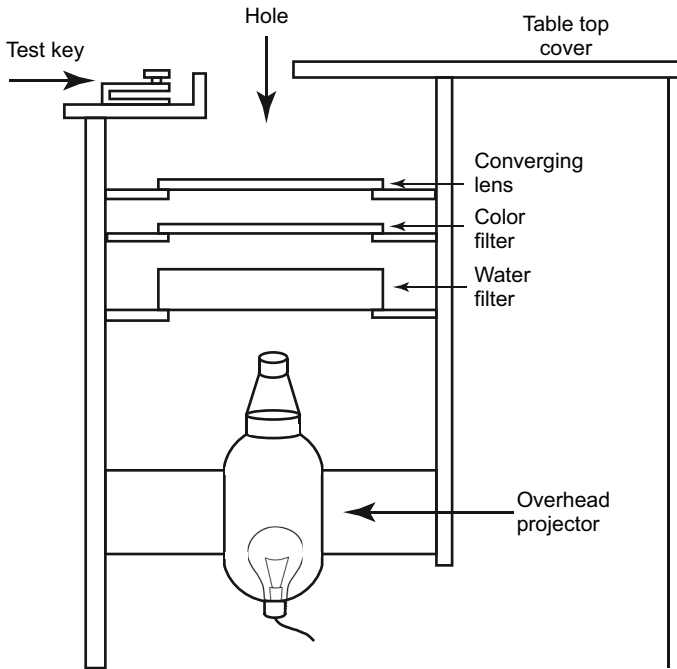


Fig. 2. Scheme of the experimental installation of the first study conducted by A.N. Leontiev

Несмотря на значимость полученного А.Н. Леонтьевым результата для понимания процессов генезиса психических актов в области восприятия, возможности его интерпретации ограничены как в связи с небольшим числом испытуемых, так и в части контроля побочных воздействий в конструкции экспериментальной установки. Поэтому можно считать, что на современном этапе развития научного знания требуется репликация исследования для дополнительной проверки эффекта, полученного А.Н. Леонтьевым.

Цель настоящего исследования

Целью является изучение наличия и возможности формирования способности испытуемых распознавать воздействие света на кожную поверхность. Можно сказать, что текущее исследование представляет собой повторение эксперимента А.Н. Леонтьева по формированию условий возникновения ощущений в результате воз-

действия света на кожную поверхность, выполненное на современной элементной базе.

Для достижения данной цели были поставлены следующие принципиальные задачи:

- а) Разработать и сконструировать экспериментальную установку с использованием современных источников света.
- б) Выбрать адекватную психофизическую методику измерения.
- в) Провести экспериментальную проверку выдвинутой гипотезы о том, что некоторые испытуемые будут способны различать воздействие света на ладонную поверхность кожи.

Методы

В качестве источника света использовался 3-ваттный зеленый светодиод с максимумом излучения в области 520 нм и шириной на полувысоте ~37 нм. По сравнению с лампой накаливания полупроводниковый светодиод почти не создает теплового излучения, испускает мощный и стабильный световой поток в узком диапазоне длин волн, позволяет практически мгновенно включать и выключать световое воздействие, имеет миниатюрные размеры световыделяющего элемента. Маленькие размеры и отсутствие колбы позволяют эффективно охлаждать световыделяющий элемент. Для улучшения охлаждения светодиод был установлен на дюралевый радиатор, а между ним и задней частью светодиода была нанесена термопаста КПТ-8. Светодиод был подключен к сети переменного тока 220В через драйвер (источник тока PSM-650ma-3W). Светодиод с радиатором были закреплен на дне низкого цилиндрического корпуса. Расстояние от верха светодиода до поверхности корпуса составило 2,4 см. Рука испытуемого располагалась на столе так, что светодиод находился напротив центра ладони испытуемого. При этом рука испытуемого была накрыта двумя слоями светонепропускающего материала.

Электрическая схема экспериментальной установки состояла из нескольких компонентов (рис. 3). Светодиод (LED-003W-05C-100-130LM-EL-PS) получал электрическое питание (3,12В, 0,60-0,61А) от драйвера. В цепь переменного напряжения 220В, подаваемого на драйвер, было включено мощное МОП-реле (К293КП12БП), управляемое постоянным напряжением 1,1–1,5В. Это управляющее напряжение поступало от многофункционального устройства ввода-вывода NI USB-6009 (National Instruments Ltd, США), которое, в свою очередь, было подключено к компьютеру через кабель USB 2.0.

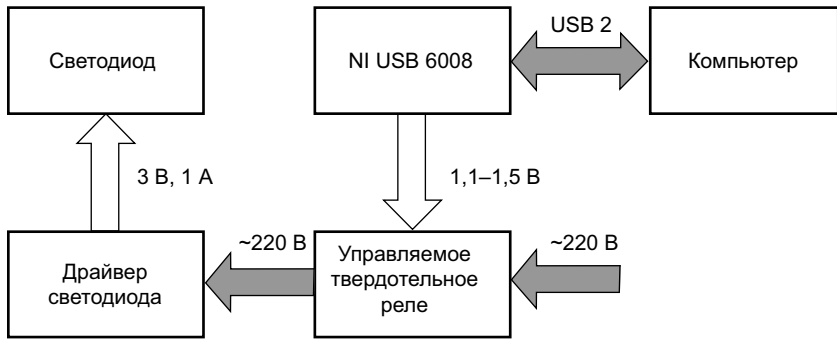


Рис. 3. Электрическая схема экспериментальной установки. Темными однонаправленными стрелками показаны линии переменного напряжения 220В; светлыми однонаправленными стрелками показаны низковольтные линии постоянного тока; двунаправленной стрелкой показан USB канал передачи сигналов ввода-вывода

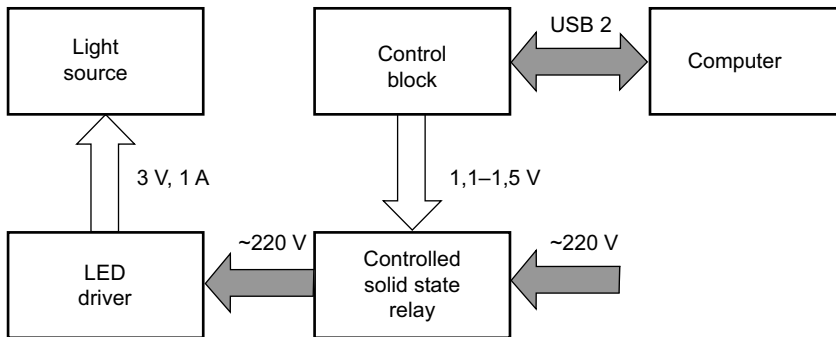


Fig. 3. Electrical diagram of the experimental installation. Dark unidirectional arrows show ac voltage lines of 220V; light unidirectional arrows show low-voltage DC lines; The bidirectional arrow shows the USB channel for transmitting I/O signals

Программа управления экспериментальной установкой, сбора и обработки результатов измерений была создана в среде программирования LabView фирмы National Instruments. Блок-схема программы приведена ниже (рис. 4). При запуске программы (в начале цикла испытания) включался генератор случайных чисел, на выходе которого получалось число в диапазоне от 0 до 1, это число поступало

в блок сравнения и, если оно было больше 0,5, то в переменную X записывалось значение «1». Если это число было меньше или равно 0,5, то записывалось «2». Затем подавалась команда на выдачу первого звукового сигнала ноутбуком. После этого сигнал поступал на первый цикл по условию («Фаза № 1»), в котором анализировалась переменная X — если $X = 1$, то подавался сигнал на включение светодиода на 5 с, если $X = 2$, то программа ожидала 5 с. После окончания первой фазы работы цикла программа ожидала 1 с, после чего издавался второй звуковой сигнал ноутбуком, а сигнал отправлялся на второй цикл по условию («Фаза № 2»). Во втором цикле по условию снова анализировалась переменная X — если $X = 2$, то отправлялся сигнал на включение светодиода на 5 с, если $X = 1$, то программа ожидала 5 с. Потом издавался третий звуковой сигнал ноутбуком, а затем сигнал отправлялся на блок ожидания ответа оператора. Результат нажатия испытуемым кнопок «1» или «2» на клавиатуре ноутбука записывался как значение переменной V . Далее переменная V поступала на блок сравнения, где проверялось равенство $X = V$. Результат сравнения заносился в протокол эксперимента. На этом цикл одного испытания заканчивался.

Фактически в каждой пробе испытуемому предъявлялась последовательность из двух 5-секундных фаз, начинавшихся со звукового сигнала, в одной из которых (определенной случайным образом) осуществлялось стимульное воздействие светом на ладонь. Задачей испытуемого было определить, в какой из фаз — в первой или во второй — присутствовал сигнал. Таким образом, процедура эксперимента представляла собой реализацию метода двойного слепого вынужденного выбора, основанного на методе двухальтернативного вынужденного выбора (Mamassian, 2020).

Окончательный вариант методики работы с испытуемыми состоял из следующих этапов:

1. Испытуемый был подробно проинформирован об условиях эксперимента и характере воздействующего стимула.
2. Далее следовало короткое обучение обращению с установкой в виде тренировочной серии из нескольких циклов. В ходе этого обучения испытуемому предъявлялась обратная связь об успешности распознавания им включения светового стимула.
3. После этого проводился основной эксперимент, состоящий из трех серий циклов для каждого испытуемого: сначала были предъявлены 10 циклов для фиксации исходного состояния; затем следовали 100 циклов основной серии предъявления стимула; далее — 10 циклов для фиксации конечного состояния.

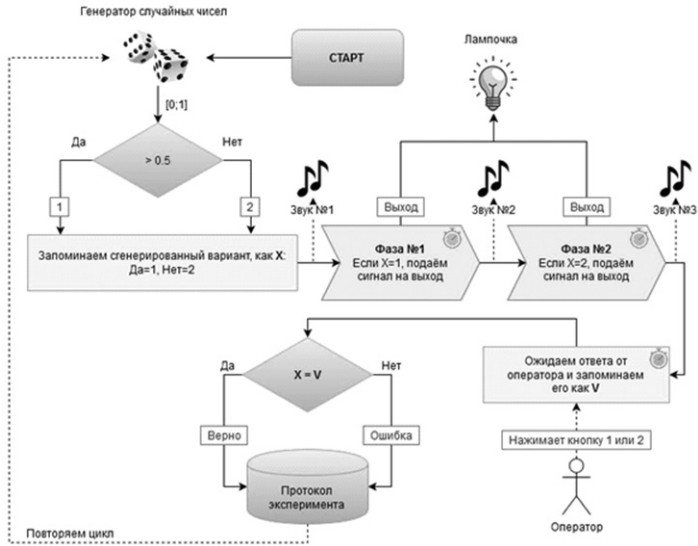


Рис. 4. Блок-схема программы управления экспериментом

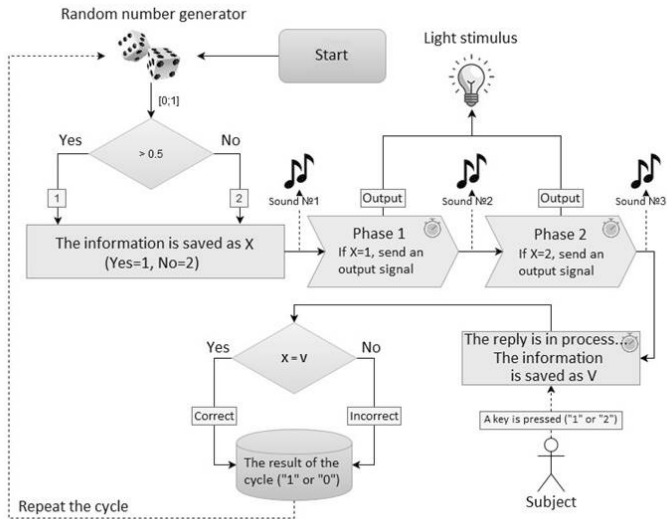


Fig. 4. Flowchart of the experiment control programme

Выборка

Всего в эксперименте приняли участие 12 человек (2 мужчин, 10 женщин, средний возраст составил 26 лет).

Результаты

На первом этапе рассмотрения полученных результатов были проанализированы данные последних, третьих, серий, состоявших из 10 циклов, для всех 12 испытуемых (рис. 5). Результаты позволяют разделить испытуемых на две группы — на тех, кто, по всей видимости, чувствует свет кожей ладони (5 человек, которые дали 8 и более правильных ответов в 10 циклах последней серии), и на тех, кто не чувствует (7 человек, давших 5–6 правильных ответов из 10).

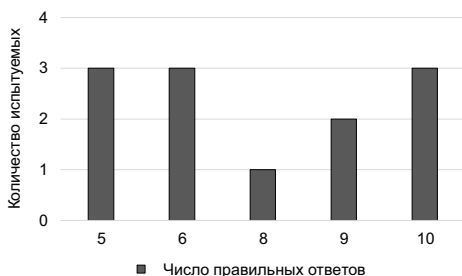


Рис. 5. Число испытуемых, давших N правильных ответов по определению фазы цикла, соответствующей включению светодиода, в 10 циклах последней серии

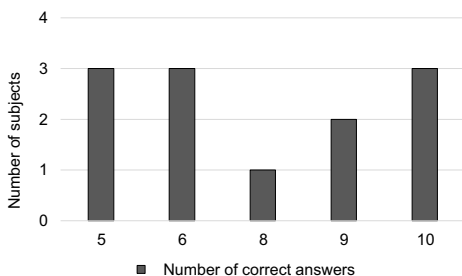


Fig. 5. The number of correct answers of the subjects in 10 cycles of the last series

Следующим этапом рассмотрения полученных результатов стал анализ всех ответов испытуемых, полученных за все время измерений

во всех циклах. Общее количество циклов по всем участникам составило 1415. С помощью применения одновыборочного t-критерия было показано, что количество правильных ответов значимо больше 50 % ($t = 10,992$, $df = 1414$, $p < 0,001$). Далее были проанализированы усредненные значения для всех испытуемых по каждому из циклов основной обучающей серии (из 100 циклов). Для большей наглядности результат этого анализа представлен в виде накопительного графика (рис. 6). Было обнаружено, что в ходе обучающей серии из 100 циклов среднее количество правильных ответов испытуемых возрастает.

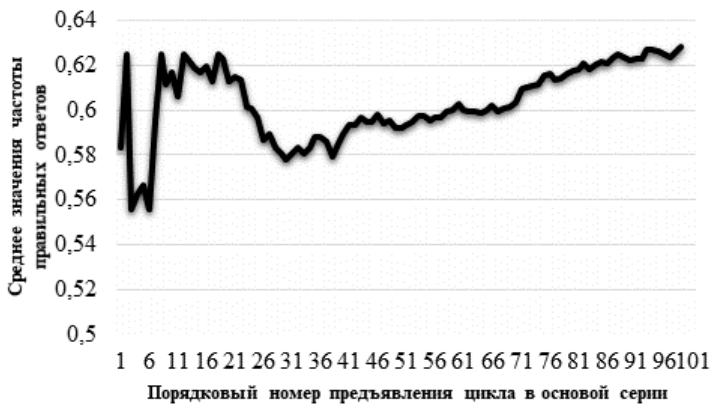


Рис. 6. Накопительный график среднего значения частоты правильных ответов

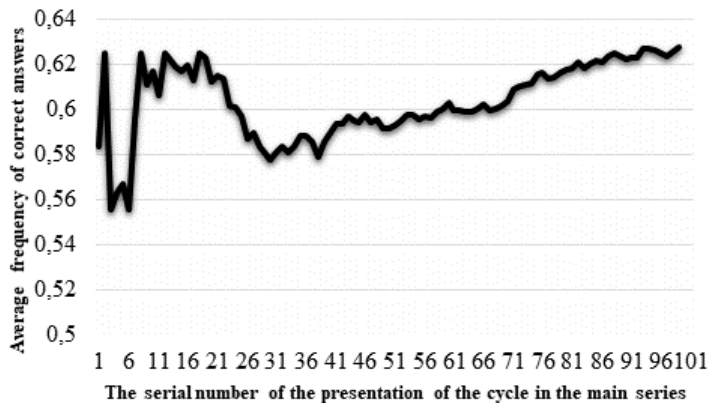


Fig. 6. Cumulative schedule of the average frequency of the correct answers

Обсуждение результатов

Представленные выше результаты в целом позволяют подтвердить выдвинутую гипотезу — по крайней мере, некоторые испытуемые способны достоверно чувствовать свет видимого спектра кожей ладонной поверхности руки, поскольку количество правильных опознаний статистически значимо превышает количество правильных ответов, которые могли бы быть получены случайно. Механизм данного выявленного феномена требует дальнейших детальных исследований. Подробный анализ результатов последней проверочной серии из 10 предъявлений стимула отдельных испытуемых позволил выделить две группы участников эксперимента — были выделены те, кто правильно опознал включения света в 8 и более случаях из 10, и те, кто правильно опознал включение стимула не более чем в 6 случаях из 10. Данный факт свидетельствует в первую очередь о том, что некоторые испытуемые способны различать воздействие света на ладонную поверхность кожи руки. Это согласуется с результатами, полученными в работах А.Н. Леонтьева.

Вторым важным результатом является то, что испытуемые продемонстрировали обучение этой способности в ходе эксперимента. Данный результат, в свою очередь, согласуется с результатами Н.Б. Познанской. При этом эффект обучения был показан уже при 100 повторениях предъявления стимула.

В качестве возможного объяснения полученных результатов можно предложить следующую гипотезу, требующую, конечно, дополнительных экспериментов для ее проверки. Существующие морфологические данные не подтверждают наличие в коже человека специализированных зрительных рецепторов (Dalesio et al., 2018; Grzybowski, Kupidura-Majewski, 2019). Однако, как известно (Suh, Choi, Atanaskova-Mesinkovska, 2020), в коже находятся опсины, способные поглощать свет в видимом диапазоне. Также известно (Теренин, 1967), что молекулы красителей, к которым относятся и опсины, при поглощении кванта света переходят в возбужденное электронное состояние. Затем они могут терять поглощенную энергию за счет испускания кванта флуоресценции или межмолекулярного переноса энергии или за счет колебательных и вращательных переходов конвертировать поглощенную энергию в тепловую и передавать ее окружающим молекулам, например, молекулам воды. Локальный скачок температуры микроокружения молекулы красителя после поглощения кванта света может достигать десятков и более градусов

(Valkunas, Gulbinas, 1997). Также известно (Romanovsky, 2007), что в коже человека есть тепловые и холодовые рецепторы, способные реагировать на локальные изменения температуры. Поэтому, если в коже человека находятся тепловые рецепторы, а вокруг них — опсины, способные поглощать свет и вызывать локальный нагрев среды, то в случае если они расположены близко друг к другу, видимый свет, проникая в кожу человека, возможно, способен вызывать локальный разогрев, достаточный для срабатывания тепловых рецепторов. Это косвенно подтверждается описаниями испытуемых, участвовавших в экспериментах по чувствительности ладони руки к видимому свету. Они отмечали некоторое последствие ощущения. Данная гипотеза открывает возможность ее проверки как в теоретическом, так и в экспериментальном плане в ходе дальнейших исследований.

Выводы

Таким образом, изучение процессов возникновения чувствительности кожи к световому воздействию является междисциплинарной задачей, требующей всестороннего рассмотрения данной проблемы на молекулярном, клеточном, физиологическом и психологическом уровнях. В данной работе ставилась узкая задача проверки наличия у человека способности ощущать воздействие света ладонной поверхностью кожи. Результаты работ А.Н. Леонтьева и Н.Б. Познанской в области этой тематики позволили сформулировать гипотезы о механизмах возникновения чувствительности, однако экспериментальные возможности 1930–40-х гг. были ограничены уровнем развития техники того времени, к тому же исследования проводились с небольшим количеством испытуемых. Отличительной особенностью настоящей работы в первую очередь стала реализация эксперимента с применением современной элементной базы. Использование современных светодиодов, излучение которых сосредоточено в узком диапазоне длин волн видимого спектра, позволило практически исключить воздействие излучения в инфракрасной области спектра (теплого излучения), в отличие от ламп накаливания, которыми ранее вынуждены были пользоваться исследователи. Также был использован адекватный поставленной задаче психофизический метод двухальтернативного слепого вынужденного выбора. Благодаря тому, что экспериментальная установка была полностью спроектирована и собрана заново, удалось организовать эксперименты таким образом, что общее время работы с одним испытуемым обычно составляло менее часа, в сравнении с экспериментами А.Н. Леонтьева,

длительность которых составляла несколько часов в день в течение недели. В связи с этими фактами полученные результаты отличаются высокой степенью валидности и дают перспективы для продолжения исследовательской работы в рамках данной парадигмы.

Литература

Леонтьев А.Н. Развитие психики: очерк теории: в 2-х т.: диссертация на соискание ученой степени доктора психологических наук. М., 1940.

Познанская Н.Б. Кожная чувствительность к инфракрасным и к видимым лучам // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 1936. Т. 2, Вып. 5. С. 368–369.

Познанская Н.Б. Кожная чувствительность к видимому и инфракрасному облучению // Физиологический журнал СССР. 1938. Т. 14, Вып. 4. С. 780–783.

Теренин А.Н. Фотоника молекул красителей и родственных органических соединений. Л.: Наука, 1967.

Arnheiter, H. (1998). Eyes viewed from the skin. *Nature*, 391 (6668), 632–633.

Boyle, R. (1664). Experiments and Considerations Touching Colours, with Observations on a Diamond that Shines in the Dark. The Project Gutenberg EBook.

Dalesio, N.M., Barreto Ortiz, S.F., Pluznick, J.L. et al. (2018). Olfactory, taste, and photo sensory receptors in non-sensory organs: it just makes sense. *Frontiers in physiology*, 9, 1673.

Farage, M.A. (2019). The prevalence of sensitive skin. *Frontiers in medicine*, 6, 98.

Grzybowski, A., Kupidura-Majewski, K. (2019). What is color and how it is perceived? *Clinics in dermatology* 37 (5), 392–401.

Li, F., Valero, M., Clemente, J. et al. (2020). Smart sleep monitoring system via passively sensing human vibration signals. *IEEE sensors journal*, 21 (13), 14466–14473.

Loughran, J. (2017). Virtual reality: 5G headset coupled with full-body suit promises complete virtual immersion. *Engineering & Technology*, 12 (3), 13–13.

Mamassian, P. (2020). Confidence forced-choice and other metaperceptual tasks. *Perception*, 49 (6), 616–635.

Ramirez, M.D., Speiser, D.I., Pankey, M.S. et al. (2011). Understanding the dermal light sense in the context of integrative photoreceptor cell biology. *Visual neuroscience*, 28 (4), 265–279.

Romanovsky, A.A. (2007). Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292 (1), 37–46.

Suh, S., Choi, E.H., Atanaskova-Mesinkovska N. (2020). The expression of opsins in the human skin and its implications for photobiomodulation: A Systematic Review. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 36 (5), 329–338.

Tsutsumi, M., Ikeyama, K., Denda, S. et al. (2009). Expressions of rod and cone photoreceptor like proteins in human epidermis. *Experimental dermatology*, 18 (6), 567–570.

Valkunas, L., Gulbinas, V. (1997). Nonlinear exciton annihilation and local heating effects in photosynthetic antenna systems. *Photochemistry and Photobiology*, 66 (5), 628–634.

References

- Arnheiter, H. (1998). Eyes viewed from the skin. *Nature*, 391 (6668), 632–633.
- Boyle, R. (1664). Experiments and Considerations Touching Colours, with Observations on a Diamond that Shines in the Dark. *The Project Gutenberg EBook*.
- Dalesio, N.M., Barreto Ortiz, S.F., Pluznick, J.L. et al. (2018). Olfactory, taste, and photo sensory receptors in non-sensory organs: it just makes sense. *Frontiers in physiology*, 9, 1673.
- Farage, M.A. (2019). The prevalence of sensitive skin. *Frontiers in medicine*, 6, 98.
- Grzybowski, A., Kupidura-Majewski, K. (2019). What is color and how it is perceived? *Clinics in dermatology*, 37 (5), 392–401.
- Leontiev, A.N. (1940). Development of the psyche: an essay on theory: in 2 volumes: dissertation... Doctors of Pedagogical Sciences. Moscow. (In Russ.).
- Li, F., Valero, M., Clemente, J. et al. (2020). Smart sleep monitoring system via passively sensing human vibration signals. *IEEE sensors journal*, 21 (13), 14466–14473.
- Loughran, J. (2017). Virtual reality: 5G headset coupled with full-body suit promises complete virtual immersion. *Engineering & Technology*, 12 (3), 13–13.
- Mamassian, P. (2020). Confidence forced-choice and other metaperceptual tasks. *Perception*, 49 (6), 616–635.
- Poznanskaya N.B. (1936). Cutaneous sensitivity to infrared and visible rays. *Bulletin of Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny (Experimental Biology and Medicine)*, 2 (5), 368–369. (In Russ.).
- Poznanskaya N.B. (1938). Cutaneous sensitivity to visible and infrared radiation. *Fiziologicheskii zhurnal SSSR (Physiological Journal of the USSR)*, 14 (4), 780–783. (In Russ.).
- Ramirez, M. D., Speiser, D.I., Pankey, M.S. et al. (2011). Understanding the dermal light sense in the context of integrative photoreceptor cell biology. *Visual neuroscience*, 28 (4), 265–279.
- Romanovsky, A.A. (2007). Thermoregulation: some concepts have changed. Functional architecture of the thermoregulatory system. *American Journal of Physiology. Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292 (1), 37–46.
- Suh, S., Choi, E.H., Atanaskova-Mesinkovska, N. (2020). The expression of opsins in the human skin and its implications for photobiomodulation: A Systematic Review. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*, 36 (5), 329–338.
- Terenin, A.N. (1967). Photonics of dye molecules and related organic compounds. Leningrad: Nauka. (In Russ.).
- Tsutsumi, M., Ikeyama, K., Denda, S. et al. (2009). Expressions of rod and cone photoreceptor like proteins in human epidermis. *Experimental dermatology*, 18 (6), 567–570.

Valkunas, L., Gulbinas, V. (1997). Nonlinear exciton annihilation and local heating effects in photosynthetic antenna systems. *Photochemistry and Photobiology*, 66 (5), 628–634.

Поступила: 24.12.2022

Получена после доработки: 25.02.2023

Принята в печать: 03.04.2023

Received: 24.12.2022

Revised: 25.02.2023

Accepted : 03.04.2023

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Владислав Андреевич Разживин — специалист по учебно-методической работе факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, vladislav.razzhivin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7213-5105>

Артем Иванович Ковалев — кандидат психологических наук, доцент кафедры психологии труда и инженерной психологии факультета психологии Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, artem.kovalev.msu@mail.ru <https://orcid.org/0000-0003-1592-2035>

Андрей Павлович Разживин — доктор физико-математических наук, заведующий отделом фотосинтеза и флуоресцентных методов исследований НИИ физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, razjivin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0957-5292>

ABOUT THE AUTHORS

Vladislav A. Razzhivin — Specialist in Educational and Methodological Work, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, vladislav.razzhivin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7213-5105>

Artem I. Kovalev — Cand.Sci. (Psychology), Associate Professor, Department of Work Psychology and Engineering Psychology, Faculty of Psychology, Lomonosov Moscow State University, artem.kovalev.msu@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1592-2035>

Andrei P. Razjivin — Leader of the Department of Photosynthesis and Fluorescent Methods of Investigation, Belozersky Research Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, razjivin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0957-5292>