

Метаанализ телесных факторов вариативности цветовой чувствительности

Юлия А. Грибер 

Смоленский государственный университет, Смоленск, Российская Федерация

y.griber@gmail.com

Аннотация

Введение. Цветовая чувствительность (способность различать отдельные цвета и ощущать отличия в спектральном составе видимых излучений и окраске предметов) у людей с нормальным цветовым зрением (здоровых нормальных трихроматов) может существенно варьироваться под воздействием различных факторов, как внутренних, так и внешних. Наиболее значимую группу факторов составляют физиологические (или телесные). В статье впервые систематизируются результаты аналогичных по методологии эмпирических работ, в которых возможное влияние на цветовую чувствительность телесных факторов оценивалось с помощью теста Фарнsworthа-Манселла. **Методы.** Исследование проводилось с использованием методологии систематического обзора и метаанализа. Отбор источников осуществлялся в соответствии с рекомендациями PRISMA через наукометрические архивы (*PubMed*, *Scopus*) и поисковые платформы (*Web of Science*, *Semantic Scholar*). Базу данных составили результаты 35 исследований, проведенных в период с 1963 по 2024 годы на территории 17 стран мира с участием 4024 человек. **Результаты.** Тематическая кластеризация выявленных работ позволила разделить телесные факторы цветовой чувствительности на три укрупненных группы. Первая – факторы, связанные с половыми различиями и эндокринной спецификой. Вторая – основные антропологические признаки глаза, прежде всего – цвет радужной оболочки, плотность макулярного пигмента, размер зрачка. Третья группа – различные влияния возрастных изменений в процессе естественного старения организма. **Обсуждение результатов.** Сопоставление полученных в каждом из тематических кластеров показателей общей (TES) и частичных ошибок (PES) выполнения теста Фарнsworthа-

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Манселла показало, что в масштабах популяции цветовая чувствительность имеет достаточно заметные различия, которые коррелируют с полом, возрастом, этническими и расовыми особенностями строения глаза. Одним из главных ограничений проведенных измерений является привлечение к исследованиям преимущественно европейских и американских наблюдателей. В наибольшей степени это касается возрастных норм. Исследования в этом направлении нуждаются в продолжении и дальнейшем развитии.

Ключевые слова

цветовая чувствительность; цветовое зрение; вариативность цветовосприятия; цветовая когниция; тест Фарнsworth-Манселла; FM-100 тест; метаанализ; систематический обзор; физиологические факторы; телесные факторы

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-18-00407-П, <https://rscf.ru/project/22-18-00407/> в Смоленском государственном университете.

Для цитирования

Грибер Ю. А. (2025). Метаанализ телесных факторов вариативности цветовой чувствительности. *Российский психологический журнал*, 22(4), 103–132. <https://doi.org/10.21702/rpj.2025.4.6>

Введение

Вариативность цветовой чувствительности

Описание и измерение вариативности цветовой чувствительности человека является одним из актуальных направлений современного междисциплинарного изучения когнитивных процессов (см. обзор исследований в работах: Bosten, 2022; Maule et al., 2023). Цветовая чувствительность понимается при этом как способность зрительной системы различать отдельные цвета и ощущать отличия в спектральном составе видимых излучений и окраске предметов (Измайлов и др., 1989), а ее вариативность — как измеримые индивидуальные различия этих ощущений, которые возникают под воздействием различных факторов (Muraya et al., 2023).

Отправной точкой для начала научного обсуждения индивидуальных различий цветовой чувствительности считается доклад Дж. Далтона, прочитанный им в 1794 году и опубликованный четыре года спустя в материалах Манчестерского литературного и философского общества (Dalton, 1798). Изучая ботанику, Дж. Дальтон

заметил, что испытывает значительные трудности в определении растений по цвету. Аналогичные особенности цветового зрения он обнаружил у своего брата, в то время как большинство других знакомых ему людей видели цвета иначе.

До этого времени тому, что цветовая чувствительность у разных людей может существенно различаться, в науке не придавали практически никакого значения. Возможные расхождения в распознавании цвета обсуждались, в основном, в контексте философии, и там рассматривались исключительно как интересный курьез (см. подр.: Osborn, 2012). Приблизительно так же на сегодняшний день дело обстоит с изучением вкуса. Мало кого беспокоит, все ли люди одинаково хорошо различают соленость или сладость одного и того же продукта, а также то, насколько эти индивидуальные ощущения соответствуют установленной норме (см. напр.: Spence, 2022).

Катализатором изучения цветовой чувствительности стало развитие железнодорожного транспорта и коммерческого судоходства. В этих новых сферах деятельности цвет стал использоваться в качестве знака для регулирования движения, а ошибки в восприятии цвета привели сразу к нескольким крупным катастрофам с многочисленными жертвами (наиболее известная произошла в Швеции в 1875 году) (Osborn, 2012, p. 324). В результате интерес к состоянию цветового зрения усилился, однако, во многом под влиянием практических потребностей того времени, в качестве основной в исследовании цветовой чувствительности закрепилась дихотомическая парадигма. С точки зрения цветовой чувствительности, всех людей просто разделили на две группы – тех, у кого цветовая чувствительность в норме, и людей с нарушенной способностью различать все или некоторые оттенки (людей с аномальной цветовой чувствительностью, или дальтоники) (см. подр.: Osborn, 2012, p. 325).

Тест Фарнsworth-Манселла

Важную роль в формировании современной парадигмы изучения вариативности цветовой чувствительности сыграло развитие простых и удобных в использовании инструментов ее измерения, особенно – появление панельного теста Фарнsworth-Манселла (Farnsworth-Munsell 100-Hue, FM 100-Hue, FM-100). Разработанный в 1943 году Д. Фарнsworthом на основе идеи У.О.Д. Пирса (Pierce, 1934; см. подр.: Pokorny & Smith, 1986) и цветовой системы Манселла (Farnsworth, 1943, 1957), тест начал активно применяться для оценки цветового зрения с середины XX века и на сегодняшний день является одним из самых распространенных во всем мире.

Популярность и широкая известность теста связана сразу с несколькими обстоятельствами. Тест производится массово, имеет разумную цену; является портативным и удобным в транспортировке; не имеет культурной специфики и не требует никакой предварительной подготовки как со стороны наблюдателя, так и со стороны оператора. Признание теста научным сообществом объясняется также тем, что он позволяет оценивать цветовую дискриминацию наблюдателя количественно (Farnsworth, 1957; Smith et al., 1985) и сравнивать полученные показатели с

предшествующими в лонгитюдных исследованиях или проводить компаративный анализ обобщенных групп. Тест достаточно устойчив к рефракционным нарушениям (Thyagarajan et al., 2007), имеет высокую (до 100%) чувствительность и специфичность (83%) (Seshadri et al., 2005; Fanlo Zarazaga et al., 2019).

В первые годы научного применения теста, во многом под давлением сложившейся дихотомической парадигмы описания цветовой чувствительности, индивидуальные различия, которые достаточно часто фиксировались в психофизических данных в пределах нормы, не становились предметом детального обсуждения и тем более самостоятельных исследований (Boston, 2022). Наличие даже больших расхождений в наборах данных людей с нормальным цветовым зрением (нормальных трихроматов) рассматривалось скорее как ошибка – признак того, что что-то не так с исследованием, и даже повод не доверять представленным средним значениям, которые обычно использовались в анализе.

Однако со временем получаемые эмпирические данные привели к переосмыслению структуры различий цветовой чувствительности (см. подр.: Muraya et al., 2023). Исследователи пришли к пониманию того, что границы нормы условны, и люди с нормальным цветовым зрением тоже видят цвета принципиально по-разному. Индивидуальные различия в переработке связанной с цветом информации на разных уровнях визуальной системы оказывают влияние на все аспекты восприятия цвета, от цветоразличения до константности цветовосприятия, цветоименования и субъективного цветового опыта (Boston, 2022). Так в фокусе научного интереса оказались вариативность, разнообразие цветовой чувствительности, изучение факторов, которые могут на нее повлиять, и социокультурных последствий, к которым это может привести.

За многолетнюю историю существования теста Фарнsworth-Манселла обсуждение возможного влияния на показатели цветовой чувствительности факторов, не связанных с функциональными возможностями зрительной системы, как внутренних, так и внешних, составило основу целого ряда научных публикаций, которые нуждаются в систематическом осмыслении и комплексном анализе. Поскольку все эти работы аналогичны по методологии, представленные в них эмпирические данные хорошо поддаются сопоставлению. Систематизация и метаанализ накопленного материала позволит сделать важные выводы для дальнейшего исследования цветовой чувствительности и механизмов формирования вариативности цветового зрения.

Цель статьи заключается в том, чтобы на основе систематического обзора опубликованных результатов эмпирических исследований цветового зрения нормальных трихроматов с помощью теста Фарнsworth-Манселла и метаанализа существенных для вариативности цветовой чувствительности количественных показателей выделить физиологические (телесные) факторы, наиболее значимые для формирования индивидуальных различий.

Методы

Методология исследования

В работе используется методология систематического обзора и метаанализа (см. подр.: Littell et al., 2008), объединение которых направлено на выявление, анализ и синтез больших массивов количественных эмпирических данных опубликованных работ, в которых оценка цветовой чувствительности осуществлялась с помощью теста Фарнворта-Манселла.

Насколько нам известно, подобный систематический обзор исследований цветовой чувствительности проводится впервые.

Отбор источников и формирование базы данных исследования

Отбор источников и формирование базы данных исследования осуществлялись в соответствии с рекомендациями PRISMA (англ. – *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) (Page et al., 2021) и включали 4 этапа (рисунок 1).

На первом этапе проводилась идентификация исследований через наукометрические базы данных (*PubMed, Scopus*) и поисковые платформы (*Web of Science, Semantic Scholar*). В качестве ключевого слова использовались различные принятые в научных публикациях варианты названия теста (*Farnsworth–Munsell 100 Hue Color Vision test, Farnsworth–Munsell 100-Hue test, FM 100-Hue test, FM-100 test*). Поиск по заголовкам, ключевым словам и аннотациям выявил 1710 релевантных научных публикаций.

В ходе скрининга на втором этапе отбора источников из полученного списка было исключено 1376 повторяющихся публикаций, препринтов и презентаций на конференциях. Оставшиеся 334 статьи, которые потенциально могли иметь отношение к исследуемой проблематике, были подготовлены для извлечения из соответствующих баз данных и 327 из них успешно извлечены.

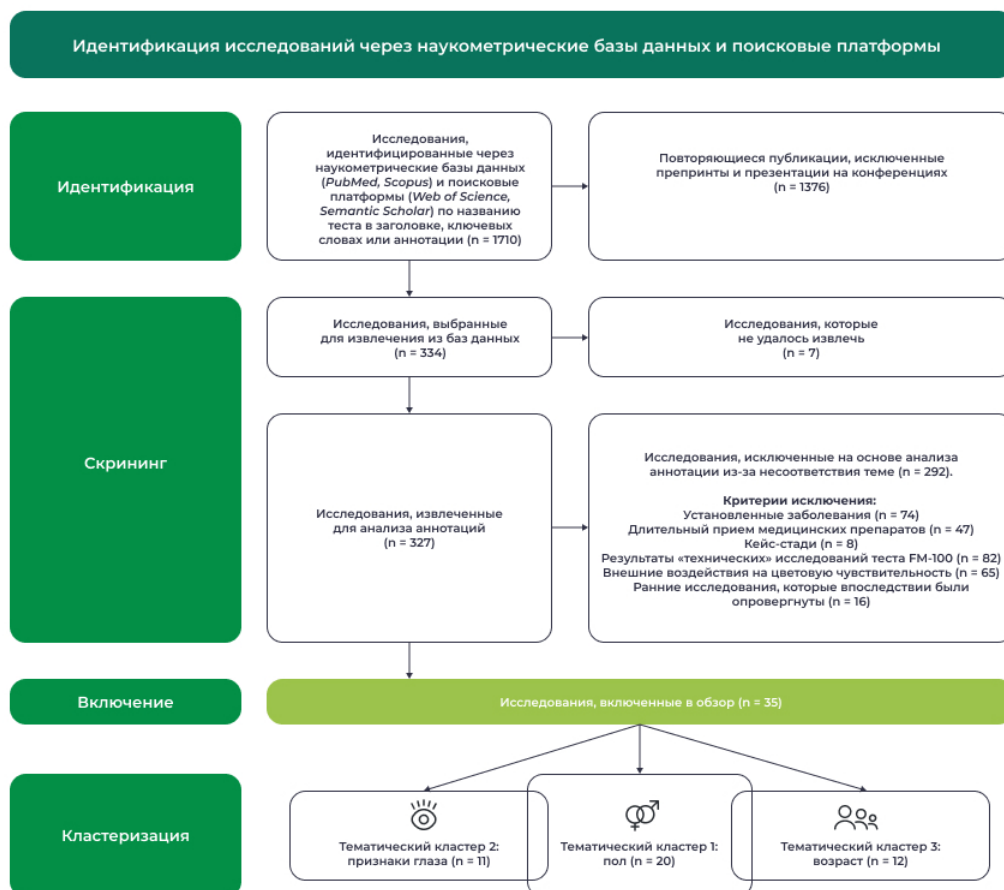
Последующий анализ полных текстов аннотаций на третьем этапе отбора источников позволил сформировать окончательный перечень источников для систематического обзора физиологических факторов и метаанализа показателей вариативности цветовой чувствительности. При формировании списка были исключены источники, содержащие результаты измерений цветового зрения у людей с установленными заболеваниями (глазными болезнями, диабетом, деменцией, болезнью Паркинсона, биполярным расстройством, коронавирусом и другими) или длительно принимающих медицинские препараты (противоэпилептические, противодиабетические, противотуберкулезные и многие другие). В качестве причин для исключения исследования из базы данных рассматривались также представленные вне анализ отдельных случаев (кейс-стади), результаты «технических» исследований теста FM-100 (например, его сопоставление с другими), а также анализ разного рода

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

внешних воздействий на цветовую чувствительность – экономических (качество питания, медицинское обслуживание), географических (высота над уровнем моря, состав воздуха, привычная освещенность), социокультурных (сфера деятельности, этнические традиции, хобби и организация повседневной жизни), психологических (алкогольная и наркотическая зависимости).

Рисунок 1

Этапы отбора источников и формирования базы данных исследования



При отборе ранних исследований главным критерием для включения в базу данных была их значимость для развития современных представлений о факторах вариативности цветового зрения. Мы не включали в обзор результаты тех исследований, которые впоследствии были перепроверены и опровергнуты.

Таким образом, в базу данных для систематического обзора и метаанализа факторов вариативности цветовой чувствительности, которые мы условно назвали телесными, вошли опубликованные результаты 35 исследований, проведенных в период с 1963 по 2024 годы на территории 17 стран мира, расположенных на всех континентах. Эти результаты включали полученные с помощью теста Фарнsworth-Манселла данные о цветовом зрении 4024 человек в возрасте от 5 лет до 81 года.

На заключительном этапе формирования базы данных все отобранные для исследования документы были разделены на три тематических кластера. Первый кластер составили исследования половых различий и эндокринной специфики цветовой чувствительности ($n = 20$). Во второй кластер вошли работы, в которых обсуждалось возможное влияние на вариативность цветовой чувствительности основных антропологических признаков глаза – цвета радужной оболочки, плотности макулярного пигмента, размера зрачка ($n = 11$). В третий кластер были собраны статьи, посвященные возрастным изменениям цветовой чувствительности в процессе естественного старения организма ($n = 12$). Исследования, в которых анализировались факторы сразу из двух кластеров, были включены в обе соответствующих группы ($n = 8$).

Тексты всех отобранных для обзора статей изучались и анализировались в полном объеме.

Результаты

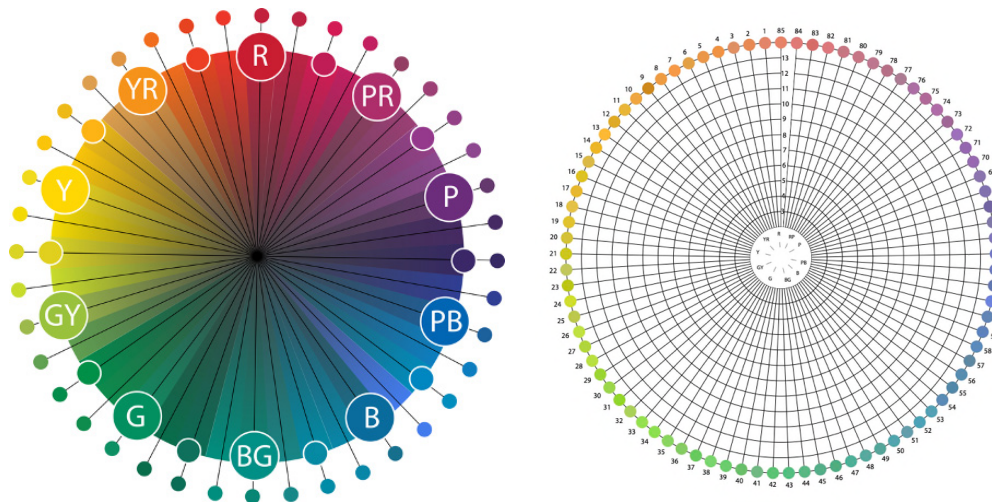
Количественные показатели вариативности цветовой чувствительности

Структура теста

Тест FM-100 (X-Rite, Гранд-Рапидс, Мичиган, США) содержит 85 фишек, оттенки которых вместе образуют полный цветовой круг (рисунок 2 слева). Оттенки разделены примерно равными шагами восприятия. В условных обозначениях системы Манселла (см. подр.: Грибер, 2018) все оттенки имеют одинаковые значения светлоты и насыщенности ($Value = Chroma = 6$) и различаются только по тону (рисунок 2 справа).

Рисунок 2

Цветовой круг Манселла (слева) и шаблон для представления результатов теста Фарнsworth-Манселла (справа)



Фишки разделены на 4 пенала, которые часто обозначают латинскими буквами А, В, С и D. В пенале А находятся 22 фишки, в трех остальных – по 21. В каждом из четырех пеналов фишки представляют определенный сектор цветового круга: от красного до красно-оранжевого (пенал А, фишки 85–21), от желтого до желто-зеленого (пенал В, фишки 22–42), от зеленого до зелено-фиолетового (пенал С, фишки 43–63) и от индиго до мадженты (пенал D, фишки 64–84).

Крайние фишки в каждом из пеналов закреплены, в то время как остальные – подвижны. Для измерения цветовой чувствительности фишки перемешивают и просят наблюдателя выстроить последовательность в каждом из пеналов заново, таким образом, чтобы переход от одного цвета к другому получился как можно более плавным.

Несмотря на простую, на первый взгляд, задачу, на практике безошибочно расположить все фишки удастся лишь 1–2% людей с нормальным цветовым зрением (Pokorny & Smith, 1986). Цветовое различие (дельта Е) между оттенками в среднем составляет всего около 2,2 единиц, что позволяет уловить мельчайшие различия в цветовой чувствительности. При этом значения этого показателя в разных пеналах неодинаково: пенал А является наименее сложным, С – самым сложным (Lakowski, 1966). Наиболее похожи оттенки фишек, имеющих номера с 85 по 8 и с 35 по 65. Как следствие, расположение этих фишек в правильном порядке представляет более сложную задачу для наблюдателя (Dain et al., 1991).

Общая ошибка (TES)

Традиционный метод анализа включает, прежде всего, подсчет общей ошибки (англ. – *Total error score, TES*). Этот показатель отражает хроматическую чувствительность

в целом и рассчитывается как сумма баллов для фишек в четырех пеналах. Балл для отдельной фишки вычисляется как сумма абсолютной разницы между числом ошибок для данного цвета и числами ошибок соседних фишек минус 2 (Farnsworth, 1957):

$$Total\ Error\ Score\ (TES) = \sum_{i=1}^4 iES = \sum_{i=1}^4 (\sum_{j=1}^{n+2} CE_j) - ((n+2)*2)$$

где $CE_j = |C_j - C_{j-1}| + |C_j - C_{j+1}|$; i – номер пенала ($i=1$ обозначает пенал А, 2 – В, 3 – С, 4 – D); C_j – номер фишки j ; CE_j – ошибка фишки j ; n – количество подвижных фишек в пенале, соответствующем i ($n = 22$ для пенала А, и $n = 21$ для пеналов В–D). Чтобы формула работала правильно, члены $|C_j - C_{j+1}|$ и $|C_j - C_{j-1}|$ должны быть равны 1, когда фишки расставлены правильно. Поскольку первая свободная фишка в пенале А имеет номер 85, а не 1, для расчета требуется фиктивный массив, который присваивает фишке 85 значение 1, фишке 1 – значение 2 и так далее. Ошибка фишки (CE) рассчитывается для крайних фишек пенала, иначе подсчет баллов был бы неправильным; это требует $(n + 2)$ члена в формуле (1), где 2 учитывает крайние фишки (Esposito, 2019).

Ошибки, допущенные в каждом из пеналов, обозначаются AES, BES, CES и DES соответственно (Esposito, 2019). Если все фишки расположены в правильном порядке, значение общей ошибки $TES = 0$; чем больше смещений фишек, тем больше показатель TES. Поскольку TES имеет асимметричное распределение, в современных расчетах чаще всего используется квадратный корень из общего количества ошибок (\sqrt{TES}), чтобы получить распределение, более близкое к нормальному (Kinnear, 1970).

Для быстрой оценки показателя общей ошибки в лабораторных и полевых условиях обычно применяется специальная компьютерная программа (X-Rite, V.3.0, USA).

В зависимости от величины показателя общей ошибки (TES) наблюдателей традиционно делят на три группы: с высокой цветовой чувствительностью (TES от 0 до 16), средней (TES от 20 до 100) и низкой (TES > 100). Большинство нормальных трихроматов в популяции (около 68%) имеют средний показатель, примерно шестая часть – низкий и столько же – высокий (по 16%) (Farnsworth, 1957).

Частичные ошибки (PES)

Для определения характера вариативности цветовой чувствительности используются показатели частичных ошибок, которые рассчитываются (1) отдельно для каждой фишки (IES, англ. – *Individual error score*) (Verriest, 1963) или (2) для отдельных диапазонов оттенков (PES, от англ. – *Partial error score*).

Для отдельных цветовых категорий (*HPES*, англ. – *Hue partial error score*) показатель общей ошибки обычно распределяется на 10 сегментов (Griber & Paramei, 2024; Trukša et al., 2024):

- (1) от красного до желто-красного (R-YR), фишки 1–9; от длинноволновой части цветового спектра до 590 нм;
- (2) от желто-красного до желтого (YR-Y), фишки 10–17; 590–580 нм;
- (3) от желтого до зелено-желтого (Y-GY), фишки 18–26; 580–560 нм;
- (4) от зелено-желтого до зеленого (GY-G), фишки 27–35; 560–500 нм;
- (5) от зеленого до сине-зеленого (G-BG), фишки 36–45; 500–490 нм;
- (6) от сине-зеленого до синего (BG-B), фишки 46–53; 490–470 нм;
- (7) от синего до фиолетово-синего (B-PB), фишки 54–60; 470–450 нм;
- (8) от фиолетово-синего до фиолетового (PB-P), фишки 61–70; 450 нм до коротковолнового конца;
- (9) от фиолетового до красно-фиолетового (P-RP), фишки 71–77; 560*–500* нм;
- (10) от красно-фиолетового до красного (RP-R), фишки 78–85 (комплементарные по отношению к оттенкам от зелено-желтого до зеленого).

Для оценки количества ошибок вдоль главных осей перцептивного цветового пространства – сине-желтой и красно-зеленой – показатель общей ошибки делится на две части: ось В-У (*BY-PES*, англ. – *Blue-Yellow Partial error score*) (фишки 1–12, 34–54 и 76–85) и ось R-G (*RG-PES*, англ. – *Red-Green Partial error score*) (фишки 13–33 и 55–75 (Smith et al., 1985).

Как и в случае с общей ошибкой (TES), для получения распределения более близкого к нормальному, в анализе, как правило, используются квадратные корни из всех необходимых для обсуждения показателей.

Индекс динамики изменений

Для оценки динамики цветовой чувствительности при лонгитюдных исследованиях используется индекс изменений, который рассчитывается по формуле (2):

$$\sqrt{TES_1} - 0,25 - \sqrt{TES_2} \quad (2)$$

где TES_1 – показатель общей ошибки при первом обследовании, TES_2 – показатель общей ошибки при втором обследовании.

Использование этой формулы позволяет учесть в расчетах эффект обучения при повторном выполнении теста FM-100 (Verriest et al., 1982).

Возрастная стандартизация результатов теста

Возрастная стандартизация результатов теста (*AS*, англ. – *Age standardization*) может быть выполнена на основе нормативных значений для возрастной группы по формуле (3):

индивидуальное значение TES – среднее значение в возрастной группе

стандартное отклонение (SD) от среднего значения в возрастной группе

Полученное значение в этом случае показывает, насколько величин стандартного отклонения (SD) индивидуальное значение TES отличается от нормального среднего значения, соответствующего возрасту (Mäntyjärvi, 2001).

Расчеты методом Вингриса и Кинг-Смидта

В некоторых исследованиях проводятся дополнительные расчеты методом Вингриса и Кинг-Смидта (Vingrys & King-Smith, 1988). Этот метод анализа основан на идее Д. Фарнsworthа о том, что полученные с помощью теста FM-100 измерения цветовой чувствительности можно «перенести» в цветное пространство и вычислить разницу в показателе насыщенности (Chroma) для фишек, расположенных рядом (Farnsworth, 1943). Предложенные авторами расчеты преобразуют значения фишек из CIE 1931 в единое пространство цветности CIELUV 1976 для определения векторов цветовых различий между соседними фишками в анализируемой последовательности. Направление полученных векторов показывает тип нарушения цветовосприятия наблюдателя, а его длина – степень смещения соседних фишек.

Расчеты методом Вингриса и Кинг-Смидта традиционно включают определение пяти основных показателей: угол смещения (англ. – *confusion angle*), меньший радиус (англ. – *minor radius*), больший радиус (англ. – *major radius*), коэффициент рассеивания (англ. – *scatter index*, *S-index* = $\text{major radius} / \text{minor radius}$) и коэффициент нарушения (англ. – *confusion index*, *C-index*) (см. подр. Griber & Paramei, 2024). В современных исследованиях анализ методом Вингриса и Кинг-Смидта обычно проводится с помощью специализированных WEB-программ (см. напр.: <http://www.torok.info/fm100/>).

Интерпретация показателей вариативности цветовой чувствительности

Для интерпретации вариативности цветовой чувствительности, как правило, используется терминология врожденных цветовых аномалий, хотя врожденные нарушения цветовой чувствительности и ее вариативность в пределах нормы чаще всего имеют принципиально различную природу и разный масштаб. В случае с вариативностью цветовой чувствительности речь идет не о выраженных дефектах, а лишь о слабости цветового зрения. Тем не менее, в обоих случаях допущенные при выполнении теста ошибки на цветовом круге складываются в характерный рисунок (см., напр.: Birch, 1989).

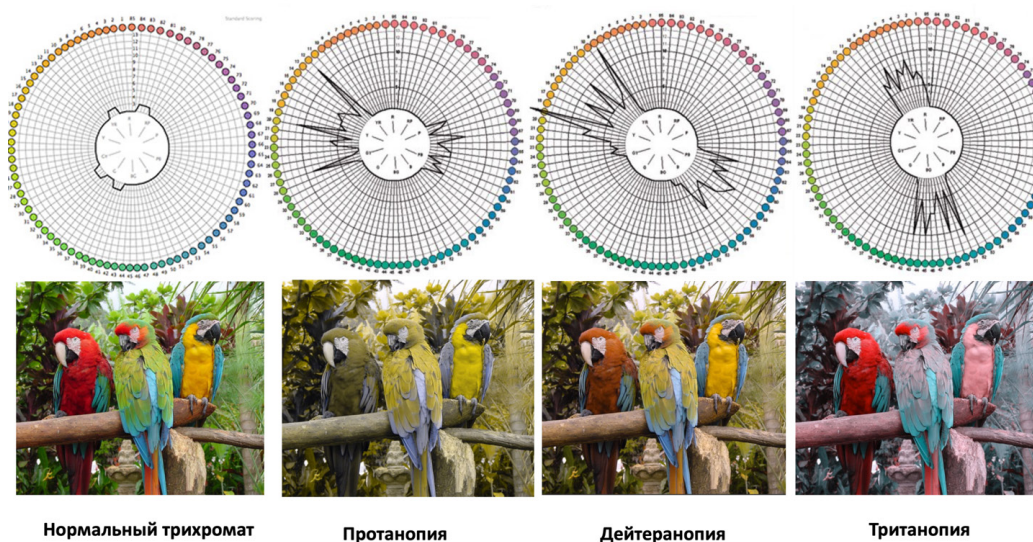
Дейтан-дефект обусловлен изменениями пигмента в колбочках М-типа, протан-дефект – в колбочках L-типа. Люди с обоими типами цветовых нарушений плохо различают одни и те же цвета (например, оранжевый, желтый и зеленый; темно-

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

зеленый, коричневый и красный), поэтому такие нарушения называют также красно-зеленым дефицитом цветовосприятия. Два главных различия между этими двумя видами нарушений заключаются в том, что у людей с дейтан-дефектом сохраняется нормальная яркостная чувствительность к красному свету, в то время как у людей с протан-дефектом она снижается, в результате чего они плохо различают также красный и серый. Люди с тритан-дефектом обычно путают друг с другом фиолетовый, серый и желто-зеленый; синий и сине-зеленый; сине-зеленый и синева-белый; темно-синий и черный. Вследствие этого такое нарушение называют также сине-желтым дефицитом цветовосприятия (Lankford & Novis, 2023). По аналогии с цветовыми аномалиями, вариативность цветового зрения тоже описывают в зависимости от преобладающей оси (как сине-желтые или красно-зеленые изменения) или сравнивают с конкретным типом цветовой аномалии (дейтано-, протано- или тританоподобный дефицит) (рисунок 3).

Рисунок 3

Характерное расположение зон ошибок при различных цветовых аномалиях в результатах теста Фарнворта-Манселла (вверху) (реконструкция на основе диаграмм в источниках (Lakowski, 1969; Kinnear, 1970; Knoblauch, 1987)) и моделирование цветовосприятия сложной сцены при каждом из типов нарушений (внизу) с помощью симулятора (Coblis, 2025)



Метаанализ телесных факторов вариативности цветовой чувствительности

Тематическая кластеризация факторов, которые можно условно назвать телесными, позволяет объединить их в три укрупненных группы: (1) пол и эндокринная специфика,

(2) основные антропологические признаки глаза (цвет радужной оболочки, плотность макулярного пигмента, размер зрачка), (3) возрастные изменения в процессе естественного старения организма. Каждая из этих групп в дальнейшем обзоре рассматривается отдельно.

Пол и эндокринная специфика

Сравнительный анализ с помощью теста Фарнsworthа-Манселла цветовой чувствительности мужчин и женщин пока не дал однозначных результатов (таблица 1). В большинстве проведенных исследований статистически значимых различий между мужчинами и женщинами обнаружено не было (Verriest, 1963; Knoblauch et al., 1987; Rigby et al., 1991; Mäntyjärvi, 2001; Karaca et al., 2005; McCusker et al., 2012; Koçtekin et al., 2013; Oji et al., 2014; Simionato et al., 2021). В ряде работ установлено, что молодые женщины лучше различают оттенки, чем мужчины такого же возраста (Fine, 1973; Fine & Kobrick, 1980 vs. Fine, 1983; Panchal et al., 2013; Imbery et al., 2018, 2020, 2022; Gupta et al., 2020), и это преимущество сохраняется примерно до 25 лет (Verriest, 1963). Однако зафиксирован и противоположный результат: меньшее количество ошибок у молодых мужчин по сравнению с ровесницами (Dain et al., 2004).

Риторика включенных в обзор публикаций указывает на то, что в целом возможные различия в цветовой чувствительности мужчин и женщин являются для исследователей достаточно ожидаемыми вследствие полового диморфизма, выраженных гормональных, онтогенетических и экологических несоответствий между полами, а также значимых гендерных расхождений в когнитивной переработке цветовой информации на всех уровнях, от восприятия цвета до цветовой метакогниции, которые могут быть связаны с широким спектром социальных и поведенческих причин (см. подр.: Грибер, 2025).

Традиционно считается, что женщины обладают более развитой цветовой чувствительностью, чем мужчины. Во многом это представление имеет стереотипный характер и связано с тем, что у мужчин статистически в десятки раз чаще, чем у женщин, встречаются наследственные нарушения цветового зрения: во всем мире различные цветовые аномалии имеют 8% мужчин и только 0.4% женщин (см., напр.: Moreira et al., 2024). Тем не менее, этот фактор действительно мог повлиять на полученный результат: поскольку скрининга на цветовые аномалии в большинстве исследований не проводилось, среди усредненных результатов мужчин с большей вероятностью, чем среди женщин, мог оказаться неустановленный наблюдатель с выраженными нарушениями цветового зрения, в случае исключения которого различие между полами утратило бы статистическую значимость.

Более высокие показатели цветовой чувствительности мужчин исследователи связывают с гендерными различиями в диаметре зрачка: поскольку у мужчин размер зрачка больше, чем у женщин, на сетчатку попадает больше света, и это положительно влияет на цветоразличение (Dain et al., 2004).

Несоответствия в полученных результатах могут объясняться тем, что участники одних исследований просто могли оказаться более мотивированными и более внимательно выполнять задание, чем участники других (Murray et al., 2012).

Еще одной возможной причиной могут быть неучтенные эндокринные изменения, которые обсуждаются в ряде опубликованных работ отдельно (Giuffrè et al., 2007; Orbán & Dastur, 2012). Проведенные исследования показывают, что цветовое зрение женщин испытывает едва заметные, но статистически значимые колебания в различные фазы менструального цикла под влиянием меняющегося уровня эстрадиола. В результате женщины лучше различают цвет во время овуляции по сравнению с началом и концом менструального цикла (Giuffrè et al., 2007).

Заметное улучшение цветоразличения (более низкие, по сравнению с небеременными женщинами, показатели общей ошибки (TES)) отмечается также на фоне выраженной динамики гормонального фона у беременных женщин в первом триместре беременности. Исследователи считают, что сдвиги в цветовой дискриминации могут быть частью сети перцептивных и физиологических защитных механизмов (среди которых также – изменения в обонянии и вкусе, тошнота, рвота), которые выполняют адаптивную функцию. С их помощью повышается вероятность распознавания визуальных сигналов, связанных с пищевой токсичностью, и за счет этого снижается риск употребления в пищу продуктов, содержащих тератогены – вещества, способные вызвать аномальное развитие плода (Orbán & Dastur, 2012).

Антропологические признаки глаза

Согласно опубликованным данным, цветовая чувствительность имеет достаточно заметные различия, которые коррелируют с антропологическими признаками глаза – цветом радужной оболочки, плотностью макулярного пигмента, размером зрачка, цветом хрусталика. Причем результаты проведенных измерений указывают на то, что все эти качества, по всей видимости, взаимосвязаны (см., обзор исследований в работе: Garakani & Ng, 2019).

В частности, если свести все разнообразие существующих вариантов цвета радужной оболочки глаз к трем основным типам, которые соотносятся с классами шкалы Бунака (Бунак, 1941) (именно так и делали некоторые исследователи, чтобы проверить свои гипотезы): (1) темный тип (радужная оболочка имеет черный, темно-карий, светло-карий или желтый цвет); (2) светлый тип (радужная оболочка состоит из серых, синих, голубых и серо-голубых цветовых элементов) и (3) смешанный тип (в радужной оболочке присутствуют участки темного и светлого цвета и она имеет зеленый, серо-зеленый, буро-зеленый, буро-серый оттенок или окрашена в серый или голубой с бурым венчиком), – то все другие отмеченные показатели будут коррелировать с этим делением.

Таблица 1

Среднее значение и стандартное отклонение общего количества ошибок (TES) для здоровых нормальных трихроматов разного пола, представленные в (Verriest, 1963, Таблица 2), (Dain et al., 2004, Таблица 2), (Panchal et al., 2013, Таблица 1), (Gupta et al., 2020, Таблицы 2 и 3)

Здоровые нормальные трихроматы разного пола											
Verriest (1963)			Dain et al. (2004)			Panchal et al. (2013)			Imbery et al. (2018)		
Пол	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N	Ср. TES ± SD N
	15-19	20-24	18-24	18-22	21-44	18-25	18-25	18-25	18-25	18-25	18-25
M	25	60.1 ± 29.4 60	42.3 ± 34.9 30	21.4 ± 19.1 30	43.80 ± 28.52 50	29.2 59	29.2 101	76.00 ± 10.61 101	89.56 ± 18.92 101	95.92 ± 22.27 101	95.92 ± 22.27 101
F	31	44.5 ± 25.5 34	25.5 ± 20.6 32	30.6 ± 19.4 32	28.38 ± 22.62 50	18.6 36	18.6 69	48.85 ± 13.02 69	58.81 ± 16.70 69	64.35 ± 16.52 69	64.35 ± 16.52 69

Примечание. Бинокулярные измерения обозначены темно-серой заливкой, монокулярные показатели правого глаза – светло-серой. В таблицу включены только данные тех исследований, где различия между показателями у мужчин и женщин были статистически значимыми.

Темный цвет глаз, как правило, означает меньший размер зрачка и более плотный макулярный слой (Hammond et al., 1996; Hammond & Caruso-Avery, 2000; Dain et al., 2004). Макулярные пигменты, которые располагаются перед фоторецепторами, наиболее активно поглощают волны в синей части спектра, с длиной примерно 460 нм. Таким образом, для фоторецепторов они являются своеобразным оптическим желтым фильтром (Будзинская, 2018). Симуляция увеличения плотности макулярного слоя с помощью искусственных фильтров заметно снижает цветовую чувствительность – приводит к росту показателя суммарной ошибки и вызывает выраженную тританоподобную полярность вдоль сине-желтой оси (Moreland & Dain, 1995). Естественное увеличение плотности макулярного слоя тоже приводит к росту показателей общей ошибки (Woo & Lee, 2002; Dain et al., 2004) и частичных ошибок в синей (фишки 50–68) и сине-зеленой (фишки 36–54) частях цветового спектра, который, однако, не достигает уровня статистической значимости (Davison et al., 2011; Garakani & Ng, 2019).

Наоборот, светлый цвет глаз, как правило, соотносится с большим размером зрачка и менее плотным макулярным слоем (Woo & Lee, 2002; Dain et al., 2004). Как следствие, светлокожие люди со светлой радужной оболочкой (голубой или зеленой), по результатам теста FM-100, имеют более высокую цветовую чувствительность, чем наблюдатели с темными (кариими) глазами (Zlatkova et al., 2014; Garakani & Ng, 2019).

Анализируемые антропологические признаки глаза коррелируют также с этнической принадлежностью и расой (Woo & Lee, 2002; Dain et al., 2004; Garakani & Ng, 2019). В частности, пигментация, в том числе цвет глаз, имеет определяющее значение в расовых классификациях, является расоводиагностическим признаком и используется для характеристики популяций (см. подр.: Лоскутова, 2013).

В целом исследования указывают на существование определенной закономерности. Более высокий показатель общей ошибки и особенно так называемых тритановых ошибок (ошибок вдоль сине-желтой оси перцептивного пространства) характерен для людей с темной кожей и темной радужной оболочкой: африканцев (Kaimbo Wa Kaimbo et al., 1994), выходцев из Азии (Woo & Lee, 2002; Garakani & Ng, 2019), населения индейских резерваций (Burdick & Chebib, 1982). Наименьшее количество ошибок фиксируется у светлокожих наблюдателей со светлыми глазами, обследованных в Европе и США. Различие между группами усиливается с возрастом и среди молодых участников менее заметно.

Возраст

В фокусе достаточно большого числа исследований находятся возрастные различия цветовой чувствительности у нормальных трихроматов. Все эти исследования можно условно разделить на две группы. Первая группа посвящена разработке

возрастных границ нормы. Вторая – изучению факторов, объясняющих возрастную динамику цветового зрения.

Специфика исследований, направленных на определение возрастных границ нормы цветовой чувствительности, заключается в достаточно большой численности наблюдателей, которых для вычисления обобщенных показателей объединяют в пяти- или десятилетние возрастные когорты. Первая работа такого рода опубликована в 1963 году (Verriest, 1963). В последующие годы представлены уточненные нормативные показатели для здоровых нормальных трихроматов зрелых возрастных групп (Pinckers, 1980; Verriest et al., 1982; Roy et al., 1991; Trukša et al., 2024) из разных этносов (Mäntyjärvi, 2001; Karaca et al., 2005) и более детальные данные по младшим когортам (Kinnear & Sahraie, 2002).

Проведенные измерения выполнены монокулярно или бинокулярно (таблица 3), в различных условиях освещенности, которая варьируется от 100 до 1000 люксов, и в разных популяциях – бельгийцев (Verriest, 1963; Verriest et al., 1982), британцев (Aspinall, 1974; Kinnear & Sahraie, 2002), голландцев (Pinckers, 1980), американцев (Roy et al., 1991), турков (Karaca et al., 2005), финнов (Mäntyjärvi, 2001). Тем не менее, все эти исследования в отношении возрастной динамики цветового зрения указывают на одинаковую тенденцию. Хроматическая чувствительность обычно повышается до 20–30 лет, остается относительно стабильной в течение следующих лет жизни и снижается после 40. Наиболее заметные статистически значимые различия в показателе общей ошибки наблюдаются между возрастными группами 19–29 ($M = 23,96$, $SD = 12,98$) и группами 40–49 ($M = 39,97$, $SD = 25,12$), 50–59 ($M = 55,40$, $SD = 12,98$) (Trukša et al., 2024). При этом значения частичной ошибки по красно-зеленой оси на протяжении жизни практически не меняется. Изменения преимущественно затрагивают сине-желтую ось В-У, особенно категории ВG-В, В-РВ, G-ВG и РР-Р (Maule et al., 2023).

Средние значения ошибки при монокулярном и бинокулярном тестировании сопоставимы и статистически не различаются. Нормативные различия между монокулярными показателями ($\sqrt{R} - \sqrt{L}$) для разных возрастных групп при этом совпадают и составляют $0 \pm 1,16$ (Aspinall, 1974).

Исследования возрастной вариативности цветовой чувствительности второго типа направлены на проверку гипотез о влиянии на возрастные изменения цветового зрения конкретных факторов различной природы. В этом случае ученые разрабатывают дизайн экспериментов таким образом, чтобы «изолировать» какой-либо отдельный фактор и в результате исследования сделать выводы о его роли в процессах снижения цветового зрения или исключить его влияние.

В младших возрастных когортах пониженные показатели цветового зрения обычно связывают с поздним завершением формирования сине-желтой системы (Dain, 2004). В старших группах зафиксированную отрицательную динамику цветового зрения до недавнего времени связывали с возрастными изменениями

хрусталика, усиливающими адсорбцию коротких волн видимого спектра, – увеличением плотности хрусталика, изменением его цвета и прозрачности.

Чтобы имитировать пожелтение хрусталика у молодых наблюдателей, исследователи использовали специальные желтые фильтры. В ранних работах (Verriest, 1963) это вызывало заметное увеличение количества ошибок при выполнении теста FM-100. Однако впоследствии ученые пришли к выводу, что фильтры, скорее всего, недостоверно воспроизводили те возрастные изменения, которые происходят со способностью хрусталика пропускать волны света в действительности. Более поздние исследования показали, что пожелтение хрусталика вряд ли можно рассматривать как решающий для возрастных изменений цветового зрения фактор (см. обзор исследований в работе: Griber et al., 2020). Значимой связи между психофизическими оценками плотности хрусталика и показателями FM-100 теста в группе нормальных испытуемых в ограниченном возрастном диапазоне (50–70 лет) исследователи также не обнаружили (Sample et al., 1988).

На сегодняшний день более обоснованной считается стратегия рассматривать возрастные изменения цветовой чувствительности как следствие сложной комбинации физиологических изменений, которые нужно учитывать в совокупности (Beirne et al., 2008). Самые значимые – возрастные уменьшения размеров зрачка и связанное с этим снижение освещенности сетчатки (Knoblauch et al., 1987; Dain et al., 2004), нечеткость зрения (Thyagarajan et al., 2007), изменение толщины макулярного слоя (Moreland & Dain, 1995; Woo & Lee, 2002; Dain et al., 2004).

Более выраженные по сравнению с возрастными нормами изменения цветового зрения происходят при различных заболеваниях, среди которых – сахарный диабет, глаукома, катаракта и ряд других (см. обзор исследований в работе: Trukša et al., 2024).

Таблица 2











Среднее значение и стандартное отклонение квадратного корня из общего количества ошибок ($\sqrt{\text{TES}}$) для здоровых нормальных трихроматов разного возраста, представленные в (Verriest et al., 1982, Таблица 1), (Roy et al., 1991, Таблица 1), (Mäntyjärvi, 2001, Таблица 1) и (Kinnear & Sahraie, 2002, Таблица 1)















Возраст- ная групп- па	Здоровые нормальные трихроматы разного возраста									
	Verriest et al. (1982)			Roy et al. (1991)			Mäntyjärvi (2001)			Kinnear & Sahraie (2002)
	N	Ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	Правый глаз ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	Левый глаз ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	N	Правый глаз ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	Левый глаз ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	N	Левый глаз ср. $\sqrt{\text{TES}} \pm$ SD	
5–9					7	15.6 ± 6.3	14.1 ± 5.5	72		15.7
10–14	27	9.13 ± 1.85	9.71 ± 2.54	9.51 ± 2.29						
15–19	32	6.63 ± 1.91	7.62 ± 2.04	7.07 ± 2.15	13	7.2 ± 3.0	6.3 ± 2.9	24	8.76 ± 2.56	9.7
20–29	29	5.69 ± 2.07	6.47 ± 2.42	6.35 ± 2.39	25	6.0 ± 2.2	6.0 ± 2.5	30	7.56 ± 2.36	7.2
30–39	29	6.71 ± 2.90	7.50 ± 2.68	7.45 ± 2.60	16	6.7 ± 1.9	5.8 ± 2.7	23	8.13 ± 2.54	6.7
40–49	30	8.23 ± 2.44	9.28 ± 2.33	8.66 ± 2.34	13	5.8 ± 1.1	5.3 ± 2.0	34	9.22 ± 2.38	7.3
50–59	30	8.68 ± 2.64	10.36 ± 2.43	10.22 ± 1.99	10	8.2 ± 2.0	8.0 ± 2.7	27	9.62 ± 2.01	8.1
60–69	28	9.57 ± 2.44	10.93 ± 2.59	11.11 ± 2.76	20	10.1 ± 3.0	9.6 ± 3.0	20	10.16 ± 2.68	9.5
70–80	27	11.46 ± 2.01	13.45 ± 2.04	13.30 ± 2.18	9	11.9 ± 2.1	12.3 ± 1.4	10		10.7
										12.3

Примечание. Бинокулярные измерения обозначены темно-серой заливкой, монокулярные показатели правого глаза – светло-серой.










Таблица 3











Список статей, в которых представлены результаты эмпирических исследований с помощью теста FM-100 воздействия на цветовую чувствительность различных телесных факторов







Авторы	Год	Страна	N	F	Возраст	Фактор	Метод	Лимит времени	Контроль освещенности	Показатели
Verriest	1963	Бельгия	480	233	10–64			bino	нет	TES, IES, HPES
Fine	1973	США	56	0	n/y (солдаты)		bino	2 мин	нет	TES
Aspinall	1974	Велико-британия	113	n/y	n/y		mono	нет	да	TES
Fine & Kobrick	1980	США	36	9	n/y (солдаты)		bino	2 мин	да	TES
Pinckers	1980	Нидерланды	410	n/y	0–69		bino	нет	да	TES
Burdick & Chebib	1982	США, Канада	92	0	24–49		bino	нет	нет	TES, IES
Verriest et al.	1982	Бельгия	232	123	10–80		bino, mono	нет	да	TES, AES, BES, CES, DES
Fine	1983	США	30	30	17–62 (32.6 ± 13.5)		bino	2 мин	да	TES, AES, BES, CES, DES
Knoblauch et al.	1987	Франция	75	39	20–78		bino, mono	нет	да	TES, IES
Rigby et al.	1991	Велико-британия	30	7	20–45+		bino	нет	да	TES
Roy et al.	1991	США	115	63	5–81		mono	нет	да	TES

Авторы	Год	Страна	N	F	Возраст	Фактор	Метод	Лимит времени	Контроль освещенности	Показатели
Kaimbo Wa Kaimbo et al.	1994	Заир	132	n/y	20–49		bino	нет	нет	TES
Moreland & Dain	1995	Велико-британия, Австралия	10	n/y	n/y		mono	нет	да	TES, IES
Mäntyläarvi	2001	Финляндия	160	106	10–69	 	mono	нет	да	TES, AES, BES, CES, DES
Kinnear & Sahraie	2002	Велико-британия	382	193	5–79		bino	2 мин	нет	AS TES, BY-PES, RG-PES
Woo & Lee	2002	Гонконг	100	49	30–59 (43.48 ± 7.66)		bino	нет	да	TES, IES, BY-PES, RG-PES
Dain et al.	2004	Австралия	63	32	18–24 (21.4)	 	bino	нет	да	TES, V&K-S
Karaca et al.	2005	Турция	180	90	10–69	 	mono	нет	да	TES, AES, BES, CES, DES, BY-PES, RG-PES
Giuffrè et al.	2007	Италия	15	15	21–34 (25 ± 4)	 	mono	нет	да	TES, AES, BES, CES, DES
Thyagarajan et al.	2007	Велико-британия	15	7	21–34	 	mono	нет	да	TES, IES, BY-PES, RG-PES

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ

Авторы	Год	Страна	N	F	Возраст	Фактор	Метод	Лимит времени	Контроль освещенности	Показатели
Beirne et al.	2008	Велико-британия	20	10	(22.2 ± 2.65) (54.5 ± 2.64)		mono	нет	да	TES, BY-PES, RG-PES
Davison et al.	2011	Велико-британия, ЮАР	102		18–40 (29 ± 6)		mono	нет	да	TES, IES, HPES (blue, cyan)
McCusker et al.	2012	Велико-британия	30	18	20–61		mono	нет	да	TES
Orbán & Dastur	2012	Канада	13	13	20–29 (28.35)		bino	нет	да	TES
Koçtekin et al.	2013	Турция	50	19	(21.18 ± 2.52)		mono	нет	нет	TES, BY-PES, RG-PES
Panchal et al.	2013	Индия	100	50	(19.51 ± 1.46)		bino	нет	нет	TES
Oji et al.	2014	Япония	68	20	27–69 (44.3 ± 9.1)		bino	нет	да	TES, PES 64–78 (tongue color region)
Zlatkova et al.	2014	Велико-британия	28	15	20–30		bino	нет	да	TES, BY-PES, RG-PES
Imbery et al.	2018	США	95	36	21–44 (25)		bino	нет	да	TES

Авторы	Год	Страна	N	F	Возраст	Фактор	Метод	Лимит времени	Контроль освещенности	Показатели
Garakani & Ng	2019	США	30	17	18–40 (25.1 ± 2.5)		mono	нет	да	TES, BY-PES, RG-PES
Gupta et al.	2020	Индия	170	69	18–25 (18.6 ± 0.91)	 	bino, mono	2.5 мин	нет	TES
Imbery et al.	2020	США	291	147	(24.9 ± 3.9)	 	bino	нет	да	TES
Simionato et al.	2020	Бразилия	120	67	20–29 (22.7)	 	bino	2 мин	да	TES
Imbery et al.	2022	США	98	59	22–26 (25.5 ± 4.1)	 	bino	нет	да	TES
Trukša et al.	2024	Латвия	146		19–70		bino	нет	да	TES, HPES, BY-PES, RG-PES

Примечание. Статьи приводятся в хронологическом порядке, по каждому году – в алфавитном порядке. В описании возраста указывается диапазон: минимум – максимум; в скобках приводится среднее значение ± стандартное отклонение. В таблице используются следующие условные обозначения: N – общее число наблюдателей; M – мужчины; F – женщины; bino – бинокулярное измерение; mono – монокулярное измерение; n/y – не указано; TES – общее количество ошибок; AES – количество ошибок в пенале A; BES – количество ошибок в пенале B; CES – количество ошибок в пенале C; DES – количество ошибок в пенале D; IES – ошибка по каждой фишке; HPES – частичная ошибка для отдельных цветовых категорий; BY-PES – частичная ошибка вдоль синей желтой оси, RG-PES – частичная ошибка вдоль красно-зеленой оси; AS – возрастная стандартизация результатов теста; V&K-S – расчеты методом Вингриса и Кинг-Смита. Тематические группы телесных факторов обозначены графически: 


 – основные антропологические признаки глаза; 
 – факторы возрастных изменений в процессе естественного старения организма.

Обсуждение результатов

Представленный в статье систематический обзор содержит критический анализ литературы в предметной области, который позволяет сопоставить имеющиеся данные, выявить тенденции и определить пробелы в изучении телесных факторов цветовой чувствительности. Обзор охватывает эмпирические исследования за последние 60 лет, проведенные в различных странах мира на всех континентах (таблица 3).

Систематизация количественных показателей и традиций интерпретации результатов теста показывает, что для анализа собранных данных в большинстве исследований используются стандартные показатели: общая ошибка (TES) и (реже) частичные ошибки (PES). Частичные ошибки в более ранних исследованиях чаще всего рассчитываются для отдельных пеналов (см., напр.: Verriest et al., 1982; Fine, 1983; Mäntyjärvi, 2001; Karaca et al., 2005; Giuffrè et al., 2007); в более поздних – вдоль главных осей перцептивного цветового пространства – сине-желтой и красно-зеленой (см., напр.: Kinnear & Sahraie, 2002; Woo & Lee, 2002; Karaca et al., 2005; Thyagarajan et al., 2007; Beirne et al., 2008; Koçtekin et al., 2013; Zlatkova et al., 2014; Garakani & Ng, 2019; Trukša et al., 2024). Более сложные вычисления (например, расчет показателей частичных ошибок отдельно для каждой из цветовых категорий или по зонам, соответствующим типу нарушения цветового зрения (см., напр.: Verriest, 1963; Davison et al., 2011; Trukša et al., 2024), а также использование коэффициентов Вингрисса и Кинг-Смидта и интерпретация данных в трехмерном цветовом пространстве) (см., напр.: Dain et al., 2004)) все еще остаются редкостью.

Отказ от использования отдельных методов в ряде случаев действительно обоснован. В частности, метод Вингриса и Кинг-Смидта дает наиболее показательные результаты при анализе значительных цветовых аномалий. Наоборот, в исследованиях вариативности цветовой чувствительности, которая не выходит за пределы нормы, цветовые векторы могут иметь весьма изменчивые углы, что делает применение метода проблематичным (см., напр.: Dain et al., 2004).

В случае проверки одной и той же гипотезы между показателями в разных исследованиях в ряде случаев наблюдаются достаточно выраженные различия (ср.: таблицы 1 и 2), которые, однако, как правило, указывают на наличие одних и тех же или аналогичных тенденций. Различия между показателями исследователи объясняют по-разному, чаще всего – расхождениями в уровне мотивированности наблюдателей (см., напр.: Murray et al., 2012), низкой или неконтролируемой освещенностью (см., напр.: Verriest et al., 1982; Knoblauch et al., 1987) или возможным наличием в базах данных неучтенных пациентов с незначительными нарушениями цветовой чувствительности под воздействием каких-либо неучтенных факторов, например, эндокринных (ср.: Giuffrè et al., 2007; Orbán & Dastur, 2012).

Тематическая кластеризация исследований, подтверждающих возможное воздействие на цветовую чувствительность внутренних физиологических

механизмов и антропологических признаков, позволяет выделить три группы факторов, которые условно можно назвать телесными: (1) пол и эндокринная специфика, (2) основные антропологические признаки глаза, (3) возрастные изменения в процессе естественного старения организма. Сопоставление полученных в каждом из тематических кластеров показателей свидетельствует о том, что выявляемые нарушения носят умеренный или даже слабый характер и, как правило, проявляются в границах соответствующей возрасту нормы (см. напр.: Pinckers, 1980; Verriest et al., 1982; Roy et al., 1991; Mäntyjärvi, 2001; Kinnear & Sahraie, 2002; Karaca et al., 2005; Trukša et al., 2024). Тем не менее, в масштабах популяции такая динамика позволяет сделать важные выводы о физиологических факторах, которые влияют на цветовосприятие. В частности, согласно опубликованным данным, цветовая чувствительность имеет достаточно заметные различия, которые коррелируют с этническими и расовыми особенностями строения глаза – цветом радужной оболочки, плотностью макулярного пигмента, размером зрачка (см., напр.: Burdick & Chebib, 1982; Kaimbo Wa Kaimbo et al., 1994; Moreland & Dain, 1995; Woo & Lee, 2002; Dain et al., 2004; Davison et al., 2011; Zlatkova et al., 2014; Garakani & Ng, 2019); с половыми различиями (Fine, 1973; Fine & Kobrick, 1980 vs. Fine, 1983; Dain et al., 2004; Panchal et al., 2013; Imbery et al., 2018, 2020, 2022; Gupta et al., 2020) и эндокринной спецификой (Giuffrè et al., 2007; Orbán & Dastur, 2012).

Заключение

Одним из главных ограничений проведенных измерений является привлечение к исследованиям преимущественно европейский и американских наблюдателей. В наибольшей степени это касается возрастных норм. Предпринимаемые попытки проверить устойчивость возрастных норм в других этнических и расовых условиях, в частности – в популяциях чернокожего населения Заира, азиатов, населения индейских резерваций Америки – все еще носят единичный характер и, как правило, проводятся на небольшой выборке. Исследования в этом направлении нуждаются в продолжении и дальнейшем развитии.

Благодарности

Автор выражает признательность стажеру-исследователю «Лаборатории цвета» Смоленского государственного университета Владимиру Устименко за помощь в подготовке визуальных материалов исследования.

Литература

- Будзинская, М. В. (2018). Макулярные пигменты при дегенеративных процессах сетчатки. *Вестник офтальмологии*, 134(5), 135–140. <https://doi.org/10.17116/oftalma2018134051135>
- Бунак, В. В. (1941). *Антропометрия*. Учпедгиз.

- Грибер, Ю. А. (2025). Метакогнитивные механизмы цветовой коммуникации. *Современная зарубежная психология*, 14(3). С. 20–29. <https://doi.org/10.17759/jmfp.2025140302>
- Грибер, Ю. А. (2018). Цветовая система Альберта Генри Манселла в пространстве современной ей культуры. *Общество. Среда. Развитие*, 4, 68–71.
- Измайлов, Ч. А., Соколов, Е. Н., Черногоризов, А. М. (1989). *Психофизиология цветового зрения*. Издательство МГУ.
- Лоскутова, Ю. В. (2013). *Возрастная изменчивость цвета и структуры радужки человека*. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.02.03 Антропология. МГУ им. М.В. Ломоносова.
- Aspinall, P. A. (1974). Inter-eye comparison on the 100-hue test. *Acta Ophthalmologica*, 52(3), 307–316. <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.1974.tb00382.x>
- Beirne, R. O., McIlreavy, L., & Zlatkova, M. B. (2008). The effect of age-related lens yellowing on Farnsworth-Munsell 100 hue error score. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 28(5), 448–456. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2008.00593.x>
- Birch, J. (1989). Use of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test in the examination of congenital colour vision defects. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 9(2), 156–162. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.1989.tb00836.x>
- Bosten, J. M. (2022). Do you see what I see? Diversity in human color perception. *Annual Review of Vision Science*, 8(1), 101–133. <https://doi.org/10.1146/annurev-vision-093020-112820>
- Burdick, J. A., & Chebib, F. S. (1982). Heredity, color vision, and alcoholism. *The International Journal of the Addictions*, 17(5), 815–822. <https://doi.org/10.3109/10826088209056329>
- Coblis – The Color BLindness Simulator. (2025). <https://www.color-blindness.com/coblis-color-blindness-simulator/>
- Dain, S. J., Cassimaty, V. T., & Psarakis, D. T. (2004). Differences in FM100-Hue test performance related to iris colour may be due to pupil size as well as presumed amounts of macular pigmentation. *Clinical and Experimental Optometry*, 87(4–5), 322–325. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2004.tb05061.x>
- Dain, S. J., Scase, M. O., & Foster, D. H. (1991). An assessment of the 'mesopization' model of blue-yellow colour vision defects. In B. Drum, J. D. Moreland, & A. Serra (Eds.), *Colour Vision Deficiencies X, Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*, 54 (pp. 187–197). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3774-4_23
- Dalton, J. (1798). Extraordinary facts relating to the vision of colours: with observations. Read October 31st 1794. *Manchester Literary and Philosophical Society, Memoirs*, 5(1), 28–45.
- Davison, P., Akkali, M., Loughman, J., Scanlon, G., Nolan, J., & Beatty, S. (2011). Macular pigment: its associations with color discrimination and matching. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 88(7), 816–822. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31821798ec>
- Espósito, T. (2019). An adjusted error score calculation for the Farnsworth-Munsell 100 Hue Test. *LEUKOS: The Journal of the Illuminating Engineering Society*, 15 (2–3), 195–202. <https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1514265>
- Fanlo Zarazaga, A., Gutiérrez Vázquez, J., & Pueyo Royo, V. (2019). Review of the main colour vision clinical assessment tests. Revisión de los principales test clínicos para evaluar la visión del color. *Archivos de la Sociedad Espanola de Oftalmologia*, 94(1), 25–32. <https://doi.org/10.1016/j.ofal.2018.08.006>
- Farnsworth, D. (1943). The Farnsworth-Munsell 100-hue and dichotomous tests for color vision. *Journal of the Optical Society of America*, 33(10), 568–578.
- Farnsworth, D. (1957). *The Farnsworth-Munsell 100-Hue Test for the Examination of Color Discrimination: Manual*. Munsell Color Company.
- Fine, B. J. (1973). Field-dependence-independence as “sensitivity” of the nervous system:

- supportive evidence with color and weight discrimination. *Perceptual and Motor Skills*, 37(1), 287–295. <https://doi.org/10.2466/pms.1973.37.1.287>
- Fine, B. J. (1983). Field-dependence and color discrimination ability in females. *Perceptual and Motor Skills*, 57(3, Pt 1), 983–986. <https://doi.org/10.2466/pms.1983.57.3.983>
- Fine, B. J., & Kobrick, J. L. (1980). Field dependence, practice, and low illumination as related to the Farnsworth-Munsell 100-Hue test. *Perceptual and Motor Skills*, 51(3 Pt 2), 1167–1177. <https://doi.org/10.2466/pms.1980.51.3f.1167>
- Garakani, R., & Ng, J. S. (2019). Associations between macular pigment, iris color and reflectance, ethnicity, and color vision: an observational study. *PloS One*, 14(8), e0220940. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220940>
- Giuffrè, G., Di Rosa, L., & Fiorino, F. (2007). Changes in colour discrimination during the menstrual cycle. *Ophthalmologica. Journal International d'Ophtalmologie. International Journal of Ophthalmology. Zeitschrift fur Augenheilkunde*, 221(1), 47–50. <https://doi.org/10.1159/000096522>
- Griber, Y. A., & Paramei, G. V. (2024). Colour discrimination in post-COVID-19 observers assessed by the Farnsworth-Munsell 100-Hue test. *Russian Psychological Journal*, 21(1), 6–32. <https://doi.org/10.21702/rpj.2024.1.1>
- Griber, Y. A., Selivanov, V. V., & Weber, R. (2020). Color in the educational environment for older people: recent research review. *Perspektivy nauki i obrazovaniya – Perspectives of Science and Education*, 47(5), 368–383. <https://doi.org/10.32744/pse.2020.5.26>
- Gupta, Ch., Shukla, J., Gupta, P. (2020). Comparison of color vision discrimination in male and female eyes among young adults – a crosssection observational study. *International Journal of Medical Science and Education*, 7(3), 13–16.
- Hammond, B. R., Jr, Fuld, K., & Snodderly, D. M. (1996). Iris color and macular pigment optical density. *Experimental Eye Research*, 62(3), 293–297. <https://doi.org/10.1006/exer.1996.0035>
- Hammond, B. R., Jr, & Caruso-Avery, M. (2000). Macular pigment optical density in a Southwestern sample. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 41(6), 1492–1497.
- Imbery, T. A., Stilianoudakis, S., Tran, D., Bugas, C. K., & Seekford, K. (2020). Is there an association between Perceptual Ability Test scores and color vision acuity? *Journal of Dental Education*, 84(6), 688–694. <https://doi.org/10.1002/jdd.12111>
- Imbery, T. A., Tran, D., Baechle, M. A., Hankle, J. L., & Janus, C. (2018). Dental shade matching and value discernment abilities of first-year dental students. *Journal of Prosthodontics: Official Journal of the American College of Prosthodontists*, 27(9), 821–827. <https://doi.org/10.1111/jopr.12781>
- Imbery, T. A., Killough, C., Baechle, M. A., Hankle, J. L., & Janus, C. (2022). An evaluation of factors affecting dental shade matching in first-year dental students. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 128(3), 489–495. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.09.030>
- Kaimbo Wa Kaimbo, D., Spileers, W., & Missotten, L. (1994). [The Farnsworth-Munsell 100 Hue test in the Bantu population. Preliminary results]. *Journal Francais d'Ophtalmologie*, 17(11), 664–667.
- Karaca, A., Saatçi, A. O., & Kaynak, C. (2005). [The result of Farnsworth-Munsell 100 hue test in Turkish population]. *Journal of Retina-Vitreous*, 13(2), 119–123.
- Kinnear, P. R. (1970). Proposals for scoring and assessing the 100 Hue test. *Vision Research*, 10(5), 423–433. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(70\)90123-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(70)90123-9)
- Kinnear, P. R., & Sahraie, A. (2002). New Farnsworth-Munsell 100 hue test norms of normal observers for each year of age 5–22 and for age decades 30–70. *British Journal of Ophthalmology*, 86(12), 1408–1411. <https://doi.org/10.1136/bjo.86.12.1408>
- Knoblauch, K. (1987). On quantifying the bipolarity and axis of the Farnsworth-Munsell 100-hue

- test. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 28(4), 707–710.
- Knoblauch, K., Saunders, F., Kusuda, M., Hynes, R., Podgor, M. Higgins, K. E., & de Monasterio F. M. (1987). Age and illuminance effects in the Farnsworth-Munsell 100-hue test. *Applied Optics*, 26(8), 1441–1448. <https://doi.org/10.1364/AO.26.001441>
- Koçtekin, B., Gündoğan, N. Ü., Altıntaş, A. G., & Yazıcı, A. C. (2013). Relation of eye dominancy with color vision discrimination performance ability in normal subjects. *International Journal of Ophthalmology*, 6(5), 733–738. <https://doi.org/10.3980/j.issn.2222-3959.2013.05.34>
- Lakowski, R. (1966). A critical evaluation of colour vision tests. *British Journal of Physiological Optics*, 23(3), 186–209.
- Lakowski, R. (1969). Theory and practice of colour vision testing: A review. Part 2. *British Journal of Industrial Medicine*, 26, 265–288. <http://dx.doi.org/10.1136/oem.26.4.265>
- Lankford, H. V., & Hovis, J. K. (2023). Color vision in the mountains. *Wilderness & Environmental Medicine*, 34(4), 610–617. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2023.08.003>
- Littell, J. H., Corcoran, J., & Pillai, V. K. (2008). *Systematic Reviews and Meta-Analysis*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195326543.001.0001>
- Mäntyjärvi, M. (2001). Normal test scores in the Farnsworth–Munsell 100 Hue test. *Documenta Ophthalmologica*, 102, 73–80. <https://doi.org/10.1023/A:1017553532092>
- Maule, J., Skelton, A. E., & Franklin, A. (2023). The Development of color perception and cognition. *Annual Review of Psychology*, 74, 87–111. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-032720-040512>
- McCusker, N., Bailey, C., Robinson, S., Patel, N., Sandy, J. R., & Ireland, A. J. (2012). Dental light curing and its effects on color perception. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics: Official Publication of the American Association of Orthodontists, its Constituent Societies, and the American Board of Orthodontics*, 142(3), 355–363. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2012.04.017>
- Moreira, H., Álvaro, L., & Lillo, J. (2024). Color blindness and semantic knowledge: cognition of color terms from elicited lists in dichromats and normal observers. *Color Research & Application*, 49(5), 420–432. <https://doi.org/10.1002/col.22925>
- Moreland, J. D., & Dain, S. L. (1995). Macular pigment contributes to variance in 100 hue tests. In B. Drum et al. (Eds.). *Colour Vision Deficiencies XII. Documenta Ophthalmologica Proceedings Series*, 57 (pp. 517–522). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-011-0507-1_62
- Muraya, Ts., Taniguchi, Y., Ichihara, Y., & Sunaga, Sh. (2023). The unique color worlds of painters with color vision deficiency. In *Proceedings of the 15th Congress of the International Colour Association 2023, 28th November – 2nd December 2023, Chiang Rai, Thailand* (pp. 532–537). International Colour Association.
- Murray, I. J., Parry, N. R. A., McKeefry, D. J., & Panorgias, A. (2012). Sex-related differences in peripheral human color vision: A color matching study. *Journal of Vision*, 12(1), 18. <https://doi.org/10.1167/12.1.18>
- Oji, T., Namiki, T., Nakaguchi, T., Ueda, K., Takeda, K., Nakamura, M., Okamoto, H., & Hirasaki, Y. (2014). Study of factors involved in tongue color diagnosis by kampo medical practitioners using the Farnsworth-Munsell 100 Hue Test and tongue color images. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine: eCAM*, 2014, 783102. <https://doi.org/10.1155/2014/783102>
- Orbán, L. L., & Dastur, F. N. (2012). Shifts in color discrimination during early pregnancy. *Evolutionary Psychology*, 10(2), 238–252. <https://doi.org/10.1177/147470491201000206>
- Osborn, R. M. (2012). The history of colour theory in art, design and science. In J. Best (Ed.). *Colour Design. Theories and Applications* (pp. 309–335). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1533/9780857095534.3.309>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw,

- J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., Stewart, L. A., Thomas, J., Tricco A., Welch, V., Whiting, P., & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, 71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Panchal, D., Mehta, A. S., Nair, G. B., Patel, D., & Naik, S. (2013). A comparative study of color perception in young males and females. *International Journal of Basic and Applied Physiology*, 2(1), 177–182.
- Pierce, W. O. D. (1934). *The Selection of the Colour Workers*. Pitman.
- Pinckers, A. (1980). Color vision and age. *Ophthalmologica. Journal International d'Ophthalmologie. International Journal of Ophthalmology. Zeitschrift fur Augenheilkunde*, 181(1), 23–30. <https://doi.org/10.1159/000309021>
- Pokorny, J., & Smith, V. C. (1986). Eye disease and color defects. *Vision Research*, 26(9), 1573–1584. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(86\)90176-8](https://doi.org/10.1016/0042-6989(86)90176-8)
- Rigby, H. S., Warren, B. F., Diamond, J., Carter, C., & Bradfield, J. W. (1991). Colour perception in pathologists: the Farnsworth-Munsell 100-Hue test. *Journal of Clinical Pathology*, 44(9), 745–748. <https://doi.org/10.1136/jcp.44.9.745>
- Roy, M. S., Podgor, M. J., Collier, B., & Gunkel, R. D. (1991). Color vision and age in a normal North American population. *Graefes's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology = Albrecht von Graefes Archiv für klinische und experimentelle Ophthalmologie*, 229(2), 139–144. <https://doi.org/10.1007/BF00170545>
- Sample, P. A., Boynton, R. M., & Weinreb, R. N. (1988). Isolating the color vision loss in primary open-angle glaucoma. *American Journal of Ophthalmology*, 106(6), 686–691. [https://doi.org/10.1016/0002-9394\(88\)90701-5](https://doi.org/10.1016/0002-9394(88)90701-5)
- Seshadri, J., Christensen, J., Lakshminarayanan, V., & Bassi, C. J. (2005). Evaluation of the new web-based "Colour Assessment and Diagnosis" test. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 82(10), 882–885. <https://doi.org/10.1097/01.opx.0000182211.48498.4e>
- Simionato, A., Pecho, O. E., & Della Bona, A. (2021). Efficacy of color discrimination tests used in dentistry. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 33(6), 865–873. <https://doi.org/10.1111/jerd.12673>
- Smith, V. C., Pokorny, J., & Pass, A. S. (1985). Color axis determination on the Farnsworth-Munsell 100-hue test. *American Journal of Ophthalmology*, 100(1), 176–182. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)75002-0](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)75002-0)
- Spence, C. (2022). The tongue map and the spatial modulation of taste perception. *Current Research in Food Science*, 5, 598–610. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2022.02.004>
- Thyagarajan, S., Moradi, P., Membrey, L., Alistair, D., & Laidlaw, H. (2007). Technical note: the effect of refractive blur on colour vision evaluated using the Cambridge Colour Test, the Ishihara Pseudoisochromatic Plates and the Farnsworth Munsell 100 Hue Test. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 27(3), 315–319. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2007.00469.x>
- Török B. Farnsworth-Munsell 100-Hue Color Vision Test Scoring. (2025). <https://www.torok.info/colorvision/fm100.htm>
- Trukša, R., Fomins, S., Jansone-Langina, Z., & Tenisa, L. (2024). Colour vision changes across lifespan: insights from FM-100 and CAD Tests. *Vision*, 8(3), 53. <https://doi.org/10.3390/vision8030053>
- Verriest, G., Van Laethem, J., & Uvijls, A. (1982). A new assessment of the normal ranges of the Farnsworth-Munsell 100-Hue test scores. *American Journal of Ophthalmology*, 93(5), 635–642. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(14\)77380-5](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(14)77380-5)
- Verriest, G. (1963). Further studies on acquired deficiency of color discrimination. *Journal of the Optical Society of America*, 53(1), 185–195. <https://doi.org/10.1364/JOSA.53.000185>

- Vingrys, A. J., & King-Smith, P. E. (1988). A quantitative scoring technique for panel tests of color vision. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 29(1), 50–63.
- Woo, G. C., & Lee, M.-h. (2002). Are ethnic differences in the F-M 100 scores related to macular pigmentation? *Clinical and Experimental Optometry*, 85(6), 372–377. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2002.tb02388.x>
- X-Rite. Farnsworth Munsell 100 Hue Test webpage. (2025a). <https://www.xrite.com/categories/visual-assessment-tools/fm-100-hue-test>
- X-Rite. Farnsworth Munsell 100 Hue Scoring Software webpage. (2025b). <https://www.xrite.com/categories/visual-assessment-tools/fm-100-hue-scoring-system>
- Zlatkova, M., Beirne, R. O., & Hinds, N. A. (2014). Color discrimination in individuals with light and dark irides: an evaluation of the effects of intraocular straylight and retinal illumination. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 31(4), A268–A273. <https://doi.org/10.1364/JOSAA.31.00A268>

Поступила в редакцию: 08.09.2025

Поступила после рецензирования: 15.10.2025

Принята к публикации: 01.11.2025

Информация об авторе

Юлия Александровна Грибер — доктор культурологии, профессор кафедры социологии и философии, директор научно-образовательного центра «Лаборатория цвета», Смоленский государственный университет, Смоленск, Российская Федерация; WOS Researcher ID: AAG-4410-2019, Scopus Author ID: 56809444600, SPIN-код РИНЦ: 8214-8269, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2603-5928>; e-mail: y.griber@gmail.com

Информация о конфликте интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.