

## ОФТАЛЬМОЛОГІЯ

УДК 612.843.3:616-072.7(048.8)

*В.В. Семенец, В.В. Токарев, О.А. Тарануха\***Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
\*Харьковский национальный медицинский университет***ДИАГНОСТИКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ  
ЦВЕТОВОГО ЗРЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

В работе рассмотрено исследование функции и дефектов цветового зрения человека (как врожденных, так и приобретенных) с помощью многоцветных тестов, пигментных таблиц, созданных по принципу полихроматичности, а также спектральных приборов. Чувствительным, надежным и достоверным методом исследования и оценки цветового восприятия является применение компьютеризированных систем.

**Ключевые слова:** цветоощущение, трихромазия, полихроматические таблицы, аномалоскоп.

Необходимость оценки цветового зрения пациента возникает для определения его профессиональной пригодности, а также при подозрении на наличие приобретенного дефекта как результата глазной болезни, общего заболевания, побочного действия лекарств или травмы [1, 2].

Имеется более десятка способов и тестов для диагностики врожденных и приобретенных нарушений цветового зрения человека. Определение цветового зрения включает: исследование порогов цветовой чувствительности, выявление цветовых расстройств и дифференцирование их по формам и степеням [3].

Для оценки функции и дефектов цветового зрения человека используют три типа методов: спектральные, электрофизиологические, метод пигментных таблиц [1, 2, 4–6]. Выделяют количественные и качественные тесты для исследования; количественные тесты чувствительны и специфичны.

**Псевдоизохроматические таблицы.** Исследовать нарушения цветоощущения можно с помощью многоцветных тестов, пигментных таблиц, созданных по принципу

полихроматичности. К ним относятся, например, полихроматические таблицы Штильлинга, Ишихара, Шаафа, Флетчера–Гамблина, Рабкина и др. [5–7]. Таблицы построены по сходному принципу; каждая включает фигуры, цифры или буквы, составленные из элементов (кружков) одного тона, но разной яркости и насыщенности, располагающихся на фоне из сходного сочетания кругов другого цвета. Фигуры, составленные из кружковой мозаики одного тона, но разной яркости, различимы трихроматами, но неразличимы протанопами или дейтеранопами [5–8].

Основанные на пигментах тесты для оценки цветового зрения разрабатываются с таким расчетом, что их будут проводить с использованием стандартного источника света. Допустимо использовать подходящие флюоресцентные лампы или фильтрованный свет вольфрамовых ламп. Необходимо, чтобы их минимальная цветовая температура составляла 6500 К, а показатель цветопередачи равнялся 90. Рекомендуется использовать свет в диапазоне 250–600 лк. Некоторая степень размытия, связанная с аномалиями рефракции, не влияет на результаты, тем не менее для комфорта пациенту рекомендуется пользоваться

© В.В. Семенец, В.В. Токарев, О.А. Тарануха, 2015

соответствующей коррекцией аномалии рефракции [9].

В Украине офтальмологами наиболее часто применяется метод, предложенный Е.Б. Рабкиным и основанный на использовании основных свойств цвета [5, 6]:

- цветового тона, который является основным признаком цвета и зависит от длины световой волны;
- насыщенности, определяемой долей основного тона среди примесей другого цвета;
- яркости, или светлоты, которая проявляется степенью близости к белому цвету (степень разведения белым цветом).

Диагностические таблицы построены по принципу уравнивания кружочков разного цвета по яркости и насыщенности [8, 9]. С их помощью обозначены геометрические фигуры и цифры («ловушки»), которые видят и читают цветоаномалы. В то же время они не замечают цифру или фигурку, выведенную кружочками одного цвета. Следовательно, это и есть тот цвет, который не воспринимает обследуемый.

Полихроматические таблицы чувствительны и специфичны, используются для выявления врожденных дефектов цветового зрения и дифференцировки их от нормальной трихромазии. Таблицы позволяют отличить дихроматов от аномальных трихроматов. Кроме того, с их помощью можно уточнить форму установленного нарушения цветового зрения (протанопия, дейтеранопия, протаномалия, дейтераномалия), степень его выраженности (А, В, С) и выявить приобретенные нарушения восприятия желтого и синего цветов (тританопические дефекты) [8].

При выявлении нарушений цветоощущения составляют карточку обследуемого, образец которой имеется в приложениях к таблицам Рабкина. Нормальный трихромат прочитает все 25 таблиц, аномальный трихромат типа С – более 12, дихромат – 7–9 таблиц [8].

Аномальные трихроматы хуже различают некоторые цвета, чем трихроматы с нормальным зрением, и в тестах на сопоставление цветов они используют красный и зеленый цвета в других пропорциях [5, 6, 8].

Дихроматы описывают все цвета при помощи лишь двух чистых цветов. Как у протанопов, так и у дейтеранопов нарушена работа красно-зеленого канала. Протанопы путают

красный цвет с черным, темно-серым, коричневым и в некоторых случаях, подобно дейтеранопам, с зеленым. Определенная часть спектра кажется им ахроматической. Для протанопов эта область между 480 и 495 нм, для дейтеранопов – между 495 и 500 нм. Редко встречающиеся тританопы путают желтый цвет и синий. Сине-фиолетовый конец спектра кажется им ахроматическим – как переход от серого к черному. Область спектра между 565 и 575 нм тританопы также воспринимают как ахроматическую [7, 8].

Таблицы III, IV, XI, XIII, XVI, XVII–XXII, XXVII неправильно или совсем не различаются дихроматами. Форма аномальной трихромазии, протаномалия и дейтераномалия дифференцируются по таблицам VII, IX, XI–XVIII, XXI. Например, в таблице IX дейтераномалы различают цифру 9 (состоит из оттенков зеленого), протаномалы – цифру 6 или 8, в таблице XII дейтераномалы в отличие от протаномалов различают цифру 12 (состоит из оттенков красного цвета разной яркости) [8]. Случаи, когда совокупность ответов исследуемого не соответствует приведенной в руководстве схеме и количество правильно прочитанных таблиц больше, чем предусмотрено для протанопов и дейтеранопов, могут быть отнесены к аномальной трихромазии [5–8].

Примеры ответов на предъявляемые тесты (рисунок) [8]:

**Тест 1.** Все нормальные трихроматы, аномальные трихроматы и дихроматы различают в таблице одинаково правильно цифры 9 и 6 (96).

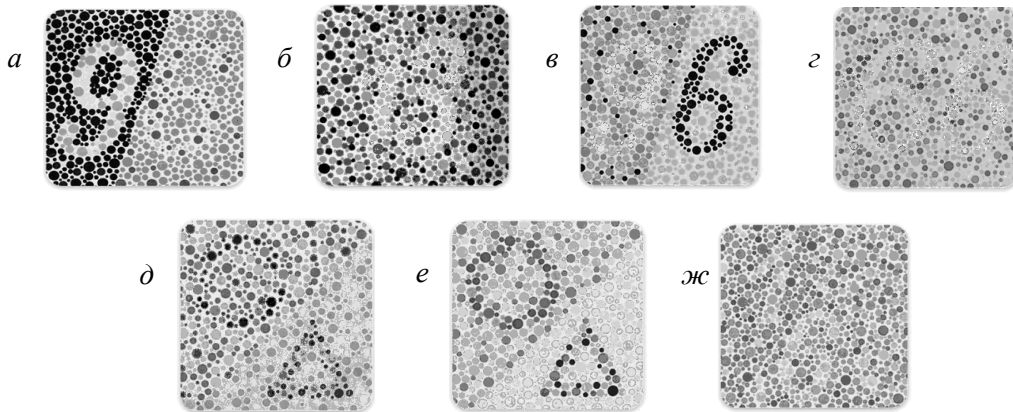
**Тест 2.** Нормальные трихроматы различают в таблице цифры 1 и 3 (13). Протанопы и дейтеранопы читают эту цифру как 6.

**Тест 3.** Нормальные трихроматы и протанопы различают в таблице две цифры – 9 и 6. Дейтеранопы различают только цифру 6.

**Тест 4.** Нормальные трихроматы различают в таблице цифры 1, 3 и 6 (136). Протанопы и дейтеранопы читают вместо них две цифры 66, 68 или 69.

**Тест 5.** Нормальные трихроматы различают в таблице круг и треугольник. Протанопы различают в таблице треугольник, а дейтеранопы – круг или круг и треугольник.

**Тест 6.** Нормальные трихроматы читают в таблице круг и треугольник. Протанопы



Таблицы полихроматические Е.Б. Рабкина для исследования цветоощущения:  
*а* – тест 1; *б* – тест 2; *в* – тест 3; *г* – тест 4; *д* – тест 5; *е* – тест 6; *ж* – тест 7

различают только круг, а дейтеранопы – треугольник.

**Тест 7.** Нормальные трихроматы различают в верхней части таблицы цифры 3 и 0 (30), а в нижней – ничего не различают. Протанопы читают в верхней части таблицы цифры 1 и 0 (10), а в нижней – скрытую цифру 6. Дейтеранопы различают в верхней части таблицы цифру 1, а в нижней – скрытую цифру 6.

В последующем при продолжении исследования возможно определение степени ее выраженности.

Однако точно дифференцировать формы и степень нарушения цветоощущения с помощью пигментных таблиц затруднительно. В данном случае более вероятно и надежно разделение людей с нарушением цветового зрения, по таблицам Рабкина, на «цветосильных» и «цветослабых» [5–7].

**Оценка результатов теста по таблицам Ишихары.** Псевдоизохроматические таблицы Ишихары ранее в основном использовались для скрининга врожденных дефектов восприятия красного и зеленого цветов.

Дизайн изохроматических таблиц Ишихары основан на таблицах Штиллинга. Фигура и фон составлены из дискретных дисков, которые варьируют по величине и яркости. Полное издание теста Ишихары состоит из 38 таблиц. Доступны сокращенная версия теста – 24 теста и краткий вариант – 14 таблиц [6]. В настоящее время они чаще применяются для диагностики нарушения цветового зрения при повреждении зрительного нерва. Тринадцать правильных ответов (соответственно из краткого варианта – 14 таб-

лиц) свидетельствуют о нормальном цветовом зрении; 9 – о нарушенном цветовом зрении; при чтении только 12-й таблицы диагностируется полное отсутствие цветового зрения; неправильное чтение первых семи таблиц (кроме 12-й) и неспособность читать остальные указывают на наличие дефицита в восприятии красно-зеленой части спектра; если пациент читает цифру «26» как «6» и «42» как «2», то говорят о протан-дефекте; при чтении «26» как «2» и «42» как «4» – о дейтан-дефекте [9].

Известны также псевдоизохроматические таблицы Гарди–Рэнда–Ритлера, а также тест Университета Сити. Но в отечественной медицине в настоящее время они не используются [9].

Для более точного определения цветового зрения применяются спектральные приборы, из которых классическим является аномалоскоп Нагеля. В настоящее время доступны аномалоскопы Найтца и Гейдельберга. Из зарубежных образцов наиболее совершенным считается аномалоскоп Гейдельберга фирмы «Oculus» [5, 6, 9].

**Аномалоскопы** – приборы, действие которых основано на принципе достижения субъективно воспринимаемого равенства цветов путем дозированного составления цветовых смесей, уравнивания цветов по Рэлею [6, 7, 9]. В этих условиях пациент наблюдает излучение в виде световых потоков, а предметом измерения служат их физические характеристики при достижении визуального равенства. При этом заранее рассчитывают, какие цвета будут неразличимы для человека с тем или иным сочетанием

типов колбочек. Определенное сочетание оттенка и яркости стимула при составлении равенства позволяет выявить тот или иной вариант нарушения цветоощущения. Пара сравниваемых цветов различается по уровню возбуждения одного из типов колбочек, например красного. При их отсутствии пациент (протаноп) не способен видеть подобные различия. Ось колбочек, чувствительных к зеленому, лежит вне цветового треугольника, поскольку данный тип на всем протяжении спектра «перекрывается» либо длинноволновыми, либо коротковолновыми (синими) колбочками. По способности уравнивания полуполя монохроматического желтого цвета с полуполем, составленным из смеси чисто красного и зеленого в разных пропорциях, судят о наличии или отсутствии нормальной трихромазии. Последней свойственны строго определенные пропорции смесей (уравнение Рэлея).

Аномалоскоп предназначен для выявления аномальной трихромазии, исследования врожденных нарушений восприятия красно-зеленых цветов. Прибор позволяет диагностировать крайние степени дихромазии (протанопию и дейтеранопию), когда обследуемый приравнивает к желтому чисто красный или чисто зеленый цвета, меняя лишь яркость желтого полуполя, а также умеренные нарушения, заключающиеся в необычно широкой зоне, в пределах которой смешения красного с зеленым дают желтый цвет (протано- и дейтераномалия). Также возможно измерение в условных единицах порогов цветоразличения как в норме, так и при патологии, когда пороги цветоразличения измеряются отдельно вдоль каждой из осей [5–7].

**Дихотомные тесты Фарнsworthа для выявления цветослепоты.** Наибольшее распространение в диагностике приобретенных нарушений цветового зрения получили 15-, 85- и 100-оттеночные тесты Фарнsworthа по стандартному «атласу цветов» Манселла [9]. 100-оттеночные тесты, основанные на различении цветовых оттенков при последовательном их насыщении, состоят из 15 или 100 (85) цветных фишек (дисков) с поверхностью, на которой последовательно увеличивается уровень оттенка или длина волны цвета. Различие в оттенках между близко стоящими друг к другу смежными

цветами составляет 1–4 нм. Пациент за 2 мин должен расставить фишки в порядке усиления оттенка и увеличения длины волны от розового через оранжевый к желтому; от желтого к зелено-голубому; от зелено-голубого к сине-пурпурному; от синего через красно-пурпурный к розовому. При этом формируется замкнутый цветовой круг. В последние годы тест был значительно упрощен Дж.Д. Моллоном [5–7, 9]. В предложенном им наборе имеются красные, зеленые и синие фишки, различающиеся не только по цвету, но и по его насыщенности. Перемешанные в беспорядке фишки обследуемый должен разобрать по цветам и ранжировать по насыщенности. В качестве эталона ему предлагают установленный в требуемом порядке набор из серых фишек.

100-оттеночный тест Фарнsworthа–Манселла получил наибольшее распространение в диагностике как врожденных, так и приобретенных нарушений цветового зрения – для выявления начальных изменений, в том числе при патологии сетчатки и зрительного нерва. Тестирование занимает много времени, метод трудоемкий для врача и утомительный для пациента. Панель Д-15 оттеночного теста Фарнsworthа в уменьшенном варианте с менее насыщенными цветами применяется при профессиональном отборе.

15-панельный тест Фарнsworthа (качественный) состоит из 15 цветных паттернов, располагающихся в определенной последовательности. Он менее чувствительный по сравнению со 100-оттеночным, но более быстрый и удобный для скрининговых исследований. В 15-оттеночном тесте Фарнsworthа позиции перепутанных местами фишек быстро становятся заметными, так как соединяющие их прямые линии не очерчивают, а пересекают тестовый круг. При обработке результатов каждая фишка характеризуется суммой разностей ее номера с номерами двух соседних. Если последовательность установлена правильно, сумма разностей номеров составляет 2 (нулевая отметка). При ошибочной установке сумма всегда будет превышать 2; чем выше искомый показатель, тем тяжелее дефект цветоразличения в направлении соответствующих изохром (в зависимости от этого определяется тип нарушения). Суммарная разница с учетом всех

меридианов свидетельствует о степени нарушения цветоразличения. Например, при выраженном дефекте восприятия синего цвета на схеме отчетливо видна полярность нарушений в двух диаметрально противоположных направлениях от центра [5–7, 9].

Цветовая палитра поверхности фишек (паттернов) более насыщена, чем в 100-оттеночном тесте. Ошибки можно быстро наносить на простую круговую диаграмму, позволяющую выявлять характер нарушения цветового зрения. Данный метод широко используют в практике.

Прочие версии теста с менее насыщенными цветами используют для выявления труднораспознаваемых нарушений цветового зрения. Возможно различие врожденных и приобретенных дефектов: при первых происходит точный выбор протан- или дейтан-цветовых паттернов, при последних расстановка нерегулярна либо ошибочна. При тритан-дефекте ошибки выявляют сразу [5–7, 9].

**Альтернативные методы исследования цветоощущения. Пороговые таблицы Юстовой с соавт.** В целях диагностики расстройств цветоощущения в клинической практике также используют пороговые таблицы, разработанные Е.Н. Юстовой с соавт. для определения порогов цветоразличения (цветосилы) зрительного анализатора. С помощью этих таблиц определяют способность уловить минимальные различия в тонах двух цветов, занимающих более или менее близкие позиции в цветовом треугольнике [3].

В их основу положен тот же пороговый принцип оценки цветослабости и дихромазии, что и в аномалоскопе Раутиана. Разница заключается лишь в том, что пороговые различия между сравниваемыми цветами в аномалоскопе улавливаются плавно, а в таблицах – дискретно. Физиологическая система цветовых координат («красный–зеленый–синий») – основа методики априорного подбора цветов, не различаемых дихроматами. В набор включено 12 таблиц: по 4 для исследования функции красного и зеленого типов колбочек, 3 – для синего и 1 – контрольная, служащая для исключения симуляции. Таким образом, предусмотрена трехступенчатая оценка цветослабости каждого типа колбочек, а для красного и зеленого – тест на цветослепоту [3].

**Хроматическая периметрия** используется нейроофтальмологами для выявления нарушений цветового зрения в ранней диагностике заболеваний зрительного нерва и центральных зрительных путей [4, 10–12]. При патологическом процессе первые изменения наблюдают при использовании красных или зеленых объектов. Демонстрация синих стимулов на желтом фоне при проведении статической хроматической периметрии используется в ранней диагностике глаукоматозной оптической нейропатии (периметр Хамфри и др.).

**Электроретинография (ЭРГ)** отражает функциональное состояние палочковой системы на всех ее уровнях, от фоторецепторов до ганглиозных клеток. Методика основана на принципе выделения преобладающей функции красных, зеленых либо синих палочек, ЭРГ разделяют на общую (хроматическую) и локальную (макулярную). Паттерн-ЭРГ на красно-зеленый реверсивный шахматный паттерн характеризует функцию макулярной области и ганглиозных клеток [1, 11, 13].

**Дополнительные сведения.** Для оценки приобретенных нарушений цветового зрения в ранней диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва используют топографическое картирование цветоощущения (цветовая статическая кампиметрия), основанное на методе многомерного шкалирования и оценке субъективных различий по времени сенсомоторной реакции при сравнении уравненных по яркости цветов стимула и фона [13, 14]. При этом время сенсомоторной реакции обратно пропорционально степени субъективного цветового различения. Исследование функции контрастирования и цветоощущения в каждой исследуемой точке центрального поля зрения осуществляется при использовании ахроматических и цветных стимулов разного цвета, насыщенности и яркости, которые могут быть уравнены по яркости с фоном, а также светлее и темнее его (ахроматического или оппонентного к цвету стимула). Метод цветовой статической кампиметрии позволяет исследовать функциональное состояние on-off-каналов колбочковой системы сетчатки, топографию контрастной и цветовой чувствительности зрительной системы [14]. В зависимости от задач исследования и сохранности зрительных

функций используются разные схемы исследования цветоощущения, включающие использование различных по длине волны, насыщенности и яркости стимулов, предъявляемых на ахроматическом или оппонентном фоне [4, 11, 13–16].

**Факторы, влияющие на результат.** На скорость выполнения теста и его результаты могут влиять состояние пациента, его внимание, тренированность, степень утомления, уровень грамотности, интеллекта, освещенность панельных тестов, таблиц и помещения, в котором проводится исследование, возраст больного, наличие помутнения оптических сред глаза, полиграфическое качество пигментных полихроматических таблиц [10, 17,

18]. Так, например, при компьютерной диагностике цветоощущения необходимо учитывать цветопередачу дисплея монитора компьютера, излучающего ультрафиолетовый и синий свет, который усиливается при использовании освещения помещения люминесцентными лампами [1, 9, 18].

Чувствительным, надежным и достоверным методом исследования и оценки цветового контрастного восприятия является применение компьютеризированных систем [10, 17, 18].

Создание новых медицинских технологий, оптической и компьютерной техники определяет прогресс офтальмологической науки.

### Список литературы

1. Григорьева Л. П. Электрофизиологические исследования цветового зрения человека / Л. П. Григорьева, А. Е. Фурсова // Сенсорные системы. Зрение. – Л. : Наука, 1982. – С. 156–169.
2. Шамшинова А. М. Новый метод оценки светорассеяния / А. М. Шамшинова, А. Е. Белозеров, Э. Н. Эскина // Тезисы 8<sup>th</sup> International Congress of the European Medical Laser Association и 1-го Российского конгресса медицинской лазерной ассоциации, 23–26 мая 2001 года. – М., 2001. – С. 26.
3. Пороговые таблицы для исследования цветового зрения (методическое руководство) / Юстова Е. Н., Алексеева К. А., Волков В. В., Сергеев В. П. – М. : Изд-во «Вида», 1994. – С. 11–26.
4. Зак П. П. Теоретические основы спектральной коррекции зрения. Клиническая физиология зрения / П. П. Зак. – М. : Изд-во МБН, 2002. – 664 с.
5. Хаппе В. Офтальмология / Вильгельм Хаппе ; [пер. с нем. ; под общ. ред. канд. мед. наук А. Н. Амирова]. – [2-е изд.]. – М. : МЕДпресс-информ, 2005. – 352 с.
6. Офтальмология в вопросах и ответах : [учеб. пособие / под ред. Х. П. Тахчиди]. – М. : ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 336 с.
7. Вэндэр Дж. Ф. Секреты офтальмологии / Джеймс Ф. Вэндэр, Дженис А. Голт ; [пер. с англ. ; под общ. ред. Ю. С. Астахова]. – М. : МЕДпресс-информ, 2005. – 464 с.
8. Рабкин Е. Б. Полихроматические таблицы для исследования цветоощущения / Е. Б. Рабкин. – [10-е изд., перераб.]. – Мн. : Ю. М. Сапожков, 1998. – 144 с.
9. Форманкиевич М. Оценка цветового зрения / М. Форманкиевич // Современная оптометрия – Украина. – 2011. – № 2 (2). – С. 37–46.
10. Патент на изобретение RU № 2192158 С2. Способ диагностики приобретенных нарушений цветоощущения / Шамшинова А. М., Петров А. С., Эскина Э. Н. и др. – № 2000126135/14 ; заявл. 18.10.00 ; опубл. 10.11.02.
11. Electrophysiologic testing in disorders of the retina, optic nerve, and visual pathway / [ed. by G. A. Fishman, D. G. Birch, G. E. Holder, M. G. Brigell]. – [2<sup>nd</sup> ed.]. – San-Fransisco : the Foundation of the American Academy of Ophthalmology, 2001. – 330 p.
12. Golubtsov K. V. Flicker fusion frequency in ophthalmic express-diagnosis / K. V. Golubtsov, O. Y. Orlov // Twentieth European conference on visual perception, Helsinki – Espoo, Finland. – Helsinki–Espoo, 1997. – P. 59.
13. Шамшинова А. М. Функциональные методы исследования в офтальмологии / А. М. Шамшинова, В. В. Волков. – М. : Медицина, 1999. – 416 с.
14. Цветовая кампиметрия в диагностике заболеваний сетчатки и зрительного нерва / А. М. Шамшинова, Л. И. Нестерюк, С. Н. Ендриховский [и др.] // Вестник офтальмологии. – 1995. – Т. 111, № 2. – С. 24–28.

15. Диагностические возможности метода мультифокальной КЧСМ / М. В. Зуева, И. В. Цапенко, К. В. Голубцов [и др.] // Клиническая физиология зрения : сборник работ. – М. : Науч.-мед. фирма МБН, 2002. – С. 268–273.

16. Картография (картирование) зрительных вызванных потенциалов в клинике глазных болезней : информационное письмо / [Шамшинова А. М., Антошин Д. М., Смирнова А. Ж. и др.]. – М., 1995. – 10 с.

17. Компьютерный метод исследования нарушений цветоощущения / А. М. Шамшинова, А. С. Петров, А. П. Дворянчикова [и др.] // Вестник офтальмологии. – 2000. – Т. 116, № 5. – С. 49–51.

18. Computer system for retina non-invasive diagnostics of human visual analyzer / V. V. Semenets, Yu. V. Natalukha, O. A. Taranukha, V. V. Tokarev // Materials of the X international scientific and practical conference «Fundamental and applied science – 2014», October 30 – November 7, 2014. – V. 14. Medicine. Biological sciences. Sheffield science and education LTD, 2014. – P. 105–108.

***В.В. Семенець, В.В. Токарєв, О.О. Тарануха***

**ДІАГНОСТИКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ КОЛЬОРОВОГО ЗОРУ ЛЮДИНИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)**

У роботі розглянуто дослідження функції і дефектів кольорового зору людини (як уроджених, так і набутих) за допомогою багатоколірних тестів, пігментних таблиць, створених за принципом поліхроматичності, а також спектральних пристроїв. Чутливим, надійним та достовірним методом кольорового сприйняття є застосування комп'ютеризованих систем.

***Ключові слова:*** кольоровідчуття, трихромазія, поліхроматичні таблиці, аномалоскоп.

***V.V. Semenets, V.V. Tokarev, O.A. Taranukha***

**FUNCTIONALITY DIAGNOSIS OF HUMAN COLOUR VISION (REVIEW OF LITERATURE)**

The article deals with research of function and defects of human colour vision (both congenital and acquired) by means of multicoloured tests, pigment tables created by the polychromatic principle, and also spectral instruments. A sensitive, reliable and valid method of research and evaluation of colour perception is application of computerized systems.

***Key words:*** colour perception, trichromatism, polychromatic tables, anomaloscope.

*Поступила 03.03.15*