

УДК 617.755→612.845.5–073.56

Спектральные световая чувствительность и коэффициент аномальности у аномальных трихроматов протанов и дейтанов

А. В. Пономарчук, Н. И. Храменко

ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии им. В. П. Филатова НАМН Украины»; Одесса (Украина)

E-mail khramenkon@mail.ru

Четкое различие красного и зеленого цветов имеет первостепенную важность в ряде профессий, что обусловило важность диагностики цветоощущения и её применения при профотборе.

Цель работы: определить остроту цветоразличия по данным спектральной световой чувствительности по пороговым испытаниям на основные типы цветоприменников на аномалоскопе и величину коэффициента аномальности у аномальных трихроматов различной степени тяжести.

Материал и методы. Исследования проведены у аномальных трихроматов с эмметропической рефракцией и остротой зрения 1,0. Группа протанов: протаномалы типа С — 132 человека (264 глаза), типа В — 138 пациентов (276 глаз) и типа А — 120 пациентов (240 глаз). Группа дейтанов: дейтераномалы типа С — 366 человек (732 глаза), дейтераномалы типа В — 207 человек (414 глаз) и типа А — 30 человек (60 глаз). Контрольную группу составили 77 нормальных трихроматов без сопутствующей офтальмологической и соматической патологии. Возраст всех испытуемых — 16–33 года. Остроту цветоразличения определяли на аномалоскопе АН-59 по трем испытаниям — 1 (красный), 2 (зеленый) и 3 (синий) цвета в режиме плавного изменения цветовых различий. Также рассчитывался коэффициент аномальности (КА).

Результаты. Острота цветоразличения по порогам на цвета по аномалоскопу была наиболее высокой при различении синего цвета и наиболее низкой — красного цвета как у нормальных, так и аномальных трихроматов. У нормальных трихроматов порог на синий цвет в среднем составил 10,3 отн. ед., зеленый — 15,3 отн. ед., красный цвет — 17,1 отн. ед.. Наиболее выраженное снижение остроты цветоразличения у аномальных трихроматов типа А (от 14 % до 18,3 %), наименее выраженное — при аномалии типа С (от 3,9 % до 9,7 %) на все три цветоприменника. Спектральная аномальность характеризуется коэффициентом аномальности, который у аномальных протанов колебался от 0,34 до 0,52, уменьшаясь при усилении ее степени тяжести на 18,3 %. КА при степени С был равен $0,49 \pm 0,01$, а при степени А — $0,40 \pm 0,03$. У аномальных дейтанов КА колебался от 2,63 до 3,56, увеличиваясь при усилении степени аномальности на 10,7 %. При степени С был равен $2,8 \pm 0,08$, а при степени А — $3,10 \pm 0,20$.

Выводы: определена острота цветоразличения у аномальных трихроматов различной степени тяжести

Ключевые слова: аномальная трихромазия, острота цветоразличения, коэффициент аномальности, аномалоскоп

Актуальность. Четкое различие оптических сигналов красного и зеленого цвета имеет первостепенную важность в ряде профессий в военной, транспортной (авиа-, морской, авто- и железнодорожной), химической, полиграфической, текстильной и других отраслях промышленности [4].

Первые профессиональные стандарты цветового зрения для работников наземного транспорта были введены еще 100 лет назад. Также специалистами разрабатывались качественно новые дорожные фонари и знаки с учетом медтребований к цвету. Особые требования предъявлялись к профессиональным экипажам авиации, разрабатывались

тесты для диагностики цветового зрения в качестве стандарта для летчиков [2].

По современным данным, среди европейской популяции нарушением цветоощущения страдают 8 % мужчин и 0,5 % женщин, в 3 %–4 % лица африканского и в 3 % азиатского происхождения [3].

Одним из методов диагностики цветового зрения является спектральный метод исследования на аномалоскопе. Аномалоскоп АН-59 предназначен для определения три- и дихроматизма цветового

зрения, а также остроты цветоразличения — спектральной световой чувствительности. Острота цветоразличения определяется по порогам, т. е. тем минимальным цветовым различиям, какие может выявить зрительный анализатор (ЗА) [1].

Цель работы: определить остроту цветоразличения по данным спектральной световой чувствительности по пороговым испытаниям на основные типы цветоприемников на аномалоскопе и величину коэффициента аномальности у аномальных трихроматов различной степени тяжести.

Материал и методы

Исследования проведены у аномальных трихроматов с эмметропической рефракцией и остротой зрения 1,0. Группа протаномов: протаномалы типа С — 132 человека (264 глаза), типа В — 138 пациентов (276 глаз) и типа А — 120 пациентов (240 глаз). Группа дейтаномов: дейтероаномалы типа С — 366 человек (732 глаза), дейтероаномалы типа В — 207 человек (414 глаз) и типа А — 30 человек (60 глаз). Контрольную группу составили 77 нормальных трихроматов без сопутствующей офтальмологической и соматической патологии. Возраст всех испытуемых — 16–33 года.

Остроту цветоразличения определяли на аномалоскопе АН-59 по трем испытаниям — 1 (красный), 2 (зеленый) и 3 (синий) цвета в режиме плавного изменения цветовых различий. Для определения окончательного диагноза аномальности использовали комплексное обследование с использованием таблиц Рабкина, Юкстовой, аномалоскопа.

Коэффициент аномальности рассчитывается по данным измерительного барабана (m_a) на аномалоскопе АН -59 по формуле

$$KA=0,91(m_a/70- m_a) [1]$$

Если коэффициент аномальности меньше 0,7 — это подтверждает аномальность на красный цвет, если больше 1,3 — аномальность на зеленый цвет.

Результаты

У нормальных трихроматов пороговая спектральная световая чувствительность по аномалоскопу на красный цвет (испытание 1) имела наибольшее значение — $17,1 \pm 0,1$ отн.ед., на зеленый цвет (испытание 2) была ниже на 10,5 % ($p < 0,05$) — $15,3 \pm 0,09$ отн.ед. и на синий (испытание 3) еще ниже — $10,4 \pm 0,1$ отн.ед. ($p < 0,05$). (табл. 1)

В группе протаномалов типа С — аномалии на красный цвет легкой степени — цветовое различение на красный цвет составило $18,5 \pm 0,1$ отн.ед. причем вариабельность показателей колебалась от 15 до 25 отн.ед., более низкий порог цветоразличения — $16,2 \pm 0,09$ отн.ед. определялся на зеленый цвет (в сравнении с красным цветом ниже на 13,5 %, ($P < 0,05$), а на синий цвет — $11,4 \pm 0,08$ отн.ед. варьируя от 9 до 12 отн. ед., что было ниже уровня порога на красный цвет на 40,5 % ($p < 0,05$) (табл. 1, рис. 1).

У дейтероаномалов типа С — аномалии легкой степени на зеленый цвет — пороговое значение на красный цвет было равно $17,8 \pm 0,07$ отн.ед., варьируя от 10 до 24 отн.ед., на зеленый цвет — $15,9 \pm 0,06$ отн.ед., варьируя от 10 до 23 отн.ед., что ниже, чем на красный на 11,2 % ($p < 0,005$), на синий цвет — $11 \pm 0,05$ отн.ед. варьируя от 6 до 16 отн.ед. (табл. 1, рис. 2).

Таким образом, у аномальных трихроматов легкой степени наибольший порог цветоразличения на красный цвет был у протаномалов — 18,5 отн.ед., что больше на 0,7 отн.ед. (3,8 %), чем у дейтероаномалов; на зеленый цвет у протаномалов 16,2 отн. ед., и больше, чем у дейтероаномалов на 0,39 (2,2 %) ($p < 0,05$). У всех аномалов типа С порог цветоразличения на синий цвет одинаков и равен 11 отн.ед. (табл. 1).

У аномальных трихроматов средней степени тяжести — тип В: у протаномалов порог различения красного цвета был равен $19,7 \pm 0,15$ отн.ед., варьируя от 16 до 28 отн.ед.; на зеленый цвет — $16,6 \pm 0,1$ отн. ед. с колебаниями вариантов от 14 до 23 отн.ед. что было ниже показателя на красный цвет на 13,3 % ($p < 0,05$), на синий $11,3 \pm 0,09$ отн.ед. (от 5 до 17 отн. ед), что на 44 % ниже, чем на красный (рис. 1)

У дейтероаномалов типа В порог различения красного цвета равен $19 \pm 0,1$ отн.ед. (от 18 до 33 отн. ед.), зеленого цвета — $16,9 \pm 0,1$ отн.ед., (от 10 до 35 отн.ед.), ниже красного порога на 10,7 %, синий цвет — $11,8 \pm 0,06$ отн.ед., что было ниже показателя красноощущающего цветоприемника на 38 % ($p < 0,05$) (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Острота цветоразличения по порогу цветоощущения на красный, зеленый и синий цвет у аномальных трихроматов различной степени тяжести.

Вид аномалии	Испытание 1 (красный цвет)		Испытание 2 (зеленый цвет)		Испытание 3 (синий цвет)	
	N	M±m	N	M±m	N	M±m
Нормальные трихроматы	154	17,1±0,1	154	15,3±0,09	154	10,3±0,1
Протаномалы типа С	264	18,5±0,1*	264	16,2±0,08*	264	11,3±0,08*
Дейтероаномалы типа С	732	17,9±0,06*	732	15,9±0,06*	732	11,1±0,05*
Протаномалы типа В	276	19,7±0,1*	276	16,6±0,14*	276	11,3±0,1*
Дейтероаномалы типа В	414	18,9±0,13*	414	16,9±0,12*	414	11,7±0,06*
Протаномалы типа А	240	19,8±0,13*	240	17,5±0,14*	240	12,02±0,08*
Дейтероаномалы типа А	60	19,5±0,2*	60	18,1±0,17*	60	12,1±0,1*

* — уровень значимости различий ($P < 0,05$) в сравнении с нормальными трихроматами.

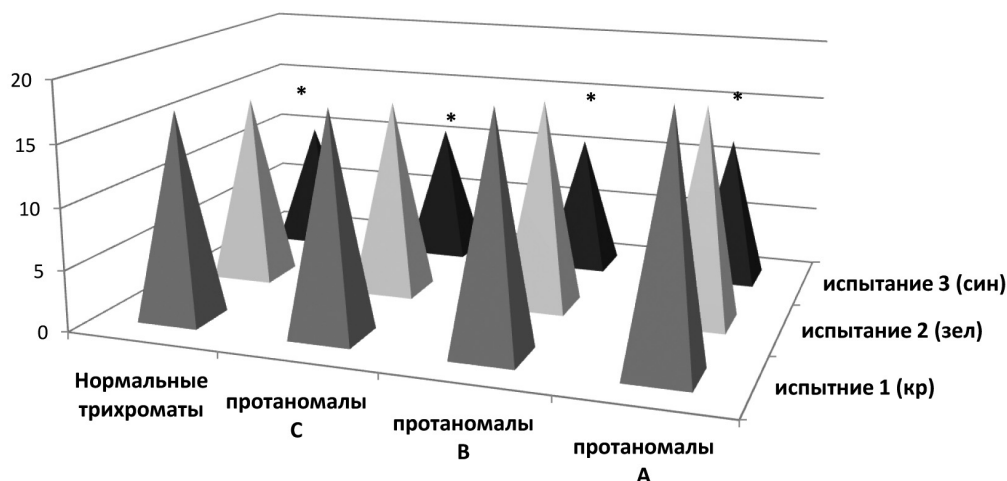


Рис. 1. Пороговые значения остроты цветоразличения у нормальных трихроматов и протаномалов различной степени тяжести трех цветоприменников

* — уровень значимости различий испытания 2 и 3 у аномальных трихроматов в сравнении испытанием 1

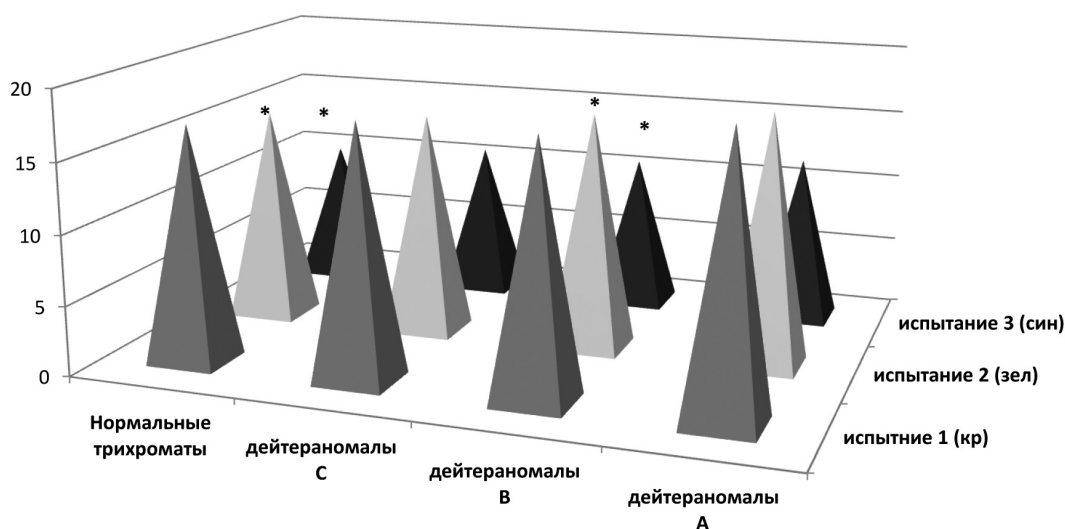


Рис. 2. Пороговые значения остроты цветоразличения у нормальных трихроматов и дейтераномалов различной степени тяжести трех цветоприменников

* — уровень значимости различий испытания 2 и 3 у аномальных трихроматов в сравнении испытанием 1

Таким образом, для аномальности средней степени тяжести характерны более высокие пороги цветоразличения на красный цвет у протаномалов — на 0,8 отн.ед. (3,7 %) ($p < 0,05$).отн.ед., чем у дейтераномалов; цветоразличение зеленого и синего цвета значимо не отличались между типом аномальности (таб. 1). При субъективных ответах пациентов выявляется, что красный цвет не называют правильно 14 % протаномалов и 4,8 % дейтераномалов; зеленый цвет и синий цвет называют правильно все.

Аномальная трихроматизация типа А. Пороги цветоразличения характеризовались равной степенью их повышения у всех аномальных трихроматов на все три цвета. На красный цвет порог в среднем был равен 19,5 отн.ед., зеленый цвет — 18,1 отн.ед., синий

цвет — 12,0 отн.ед.. Чувствительность 3А на красный цвет была ниже, чем зеленый и синий цвета, соответственно, на 10 % и 39,3 % ($p < 0,05$) у всех аномалов тяжелой степени. В группе аномалов типа А субъективное неправильное цветовосприятие красного цвета выявлено у протаномалов в 35,1 %, у дейтераномалов — в 11,8 % случаев. Эти пациенты ощущают его как зеленый или желтый цвета, т. е. как средневолновую часть спектра. Неправильное восприятие зеленого цвета — в 8,8 % и 20,6 % случаев, соответственно, называя его серым или желтым.

При сравнении уровня различия порогов у аномальных трихроматов в сравнении с нормой отмечается их повышение даже при легких степенях аномальности (до 9,7 %) и более выраженное по-

Таблица 2. Уровень повышения порога цветоразличения (%) на красный, зеленый и синий цвет у аномальных трихроматов различной степени тяжести в сравнении с нормой.

Вид аномалии	Испытание 1 (красный цвет)	Испытание 2 (зеленый цвет)	Испытание 3 (синий цвет)
	%	%	%
Протаномалы типа С	8,2*	5,8*	9,7
Дейтероаномалы типа С	4,5	3,9	7,7
Протаномалы типа В	15,2*	8,4	9,7
Дейтероаномалы типа В	10,5	10,4	13,5
Протаномалы типа А	15,7	14,3	16,6
Дейтероаномалы типа А	14,0	18,3	17,4

* — уровень значимости различий между протанопами и дейтеранопами аналогичной степени тяжести

вышение — при тяжелых степенях аномалии (до 18,3 %) на все три цвета (табл. 2).

Исследование аномальности цветового зрения

После исследования остроты цветоразличения определяют коэффициент аномальности по испытанию А, которое базируется на предложенном в 1881 г. Реллеем колориметрическом испытании, при котором красный и зеленый цвета должны быть смешаны в определенной пропорции, чтобы соответствовать базовому желтому цвету. Резкие отступления в данной пропорции возникают у аномальных трихроматов. По способности уравнивать полуполе, видимое в окуляре аномалоскопа монохроматического желтого цвета со вторым полуполем, составленным пациентом из смеси красного и зеленого, судят о наличии либо отсутствия нормальной трихромазии. Нормальными показателями уравнения Реллея были $31 \pm 0,01$ отн.ед.. Снижение показателя, основанного на составлении смеси красного-зеленого цветов (правого полуполя) к левому желтому полу полю позволяло диагностировать протаномалию, в данном случае показатель уравнения Реллея был ниже 31 отн.ед., а при наличии дейтераномалии был выше 31 отн.ед.. На основании полученных данных вычислялся коэффициент аномальности, который в норме колеблется от 0,7 до 1,3 относительных единиц.

У всех аномальных протанов КА был значительно ниже нормы, и его значения колебались от 0,49

при протаномалии слабой степени (С) до 0,4 при протаномалии высокой степени (А) (табл. 3). КА при протаномалии В был ниже на 4,1 % ($p < 0,05$), а при высокой протаномалии А — ниже на 18,3 % ($p < 0,05$), чем при аномалии слабой степени С (табл. 3).

У всех аномальных дейтанов КА вдвойне превышал норму, и его значения колебались от 2,8 до 3,1 в зависимости от степени аномальности. При тяжелой степени дейтероаномалии КА на 10,7 % ($p < 0,05$) превышал значения аномальности в других группах (табл. 3).

Таким образом, одной из важных особенностей спектрального прибора аномалоскопа является возможность выявления трихроматизма цветового зрения и степень тяжести аномальности, которая характеризуется коэффициентом аномальности. При протановой аномальности КА был значительно ниже нормы и при 95 % доверительном интервале колебался от 0,34 до 0,52, существенно снижаясь (на 18,3 %) при тяжелой степени протаномалии.

При дейтановой недостаточности, напротив, КА намного превосходил норму, колеблясь от 2,63 до 3,56, достигая наибольшего значения (выше других форм на 10,7 %) при дейтераномалии высокой степени.

При протановой и дейтановой аномальности нарушается световая спектральная чувствительность, характеризующая остроту цветоразличения. При усилении аномальности данная функция страдает и достигает потери цветоразличения на красный, зеленый и синий цвет до 18,3 % при тяжелых формах аномалии.

Выводы

1. Острота цветоразличения по порогам на цвета по аномалоскопу была наиболее высокой при различении синего цвета и наиболее низкой — красного цвета как у нормальных, так и аномальных трихроматов. У нормальных трихроматов порог на синий цвет в среднем составил 10,3 отн. ед., зеленый — 15,3 отн. ед., красный цвет — 17,1 отн. ед..

2. Наиболее выраженное снижение остроты цветоразличения у аномальных трихроматов типа А (от

Таблица 3. Коэффициент аномальности (КА) у аномальных трихроматов протанов и дейтанов

№	Вид аномальности	N	M \pm m	CI (-95 %)	CI (95 %)	P
1	Протаномалия типа С	57	0,49 \pm 0,01	0,45	0,52	P ₁₋₂ =0,2
2	Протаномалия типа В	43	0,47 \pm 0,02	0,42	0,51	P ₂₋₃ =0,03
3	Протаномалия типа А	43	0,40 \pm 0,03	0,34	0,47	P ₁₋₃ =0,003
4	Дейтероаномалия типа С	122	2,8 \pm 0,08	2,70	2,95	P ₄₋₅ =0,2
5	Дейтероаномалия типа В	117	2,9 \pm 0,08	2,68	3,03	P ₅₋₆ =0,1
6	Дейтероаномалия типа А	27	3,10 \pm 0,20	2,63	3,56	P ₄₋₆ =0,04

CI (± 95 %) — доверительный интервал (confidence interval), P — уровень значимости различий между группами

14 % до 18,3 %), найменше виражене — при аномалії типу С (от 3,9 % до 9,7 %) на все три цвето-приемника.

3. Спектральна аномальність характеризується коефіцієнтом аномальності, який у аномальних протанів коливався від 0,34 до 0,52, умень-

шаясь при усилении степени ее тяжести на 18,3 %. КА при степени С был равен $0,49 \pm 0,01$, а при степени А — $0,40 \pm 0,03$. У аномальных дейтанів КА коливався від 2,63 до 3,56, збільшуючись при усилении степени аномальності на 10,7 %. При ступені С был равен $2,8 \pm 0,08$, а при ступені А — $3,10 \pm 0,20$.

Литература

1. Черкасова Д. Н., Бахолдин А. В. Оптические офтальмологические приборы и системы. — Ч. 1. — Санкт-Петербург, 2010. — С. 46–61.
2. Birch J., Rodriguez-Carmona M. Occupational color vision standards: new prospects // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. — 2014. — Apr 1; 31 (4): A55–9.
3. Birch J. Worldwide prevalence of red-green color deficiency // J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis. — 2012. — Vol. 29. — P. 313–20.
4. Samir S. Deeb, Arno G. Motulsky. Red-Green Color Vision Defects Initial Posting // In: Pagon R. A., Adam M. P., Ardinger H. H., Wallace S. E., Amemiya A., Bean L. J. H., Bird T. D., Ledbetter N., Mefford H. C., Smith R. J. H., Stephens K., editors. GeneReviews® [Internet]. Seattle (WA): University of Washington, Seattle; 1993–2017. — 2005 Sep 19.

Спектральна світлова чутливість і коефіцієнт аномальності у аномальних трихроматів протанів і дейтанів

Пономарчук О. В., Храменко Н. І.

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В. П. Філатова НАМН України»; Одеса (Україна)

Цітке розрізнення червоного і зеленого кольорів має першорядне значення в ряді професій, що зумовило важливість діагностики сприймання кольорів в професійній експертизі.

Мета роботи: визначити гостроту розпізнавання кольорів за даними спектральної світлової чутливості по пороговим випробуванням на основні типи кольороприймачів на аномалоскопі і величину коефіцієнта аномальності у аномальних трихроматів різного ступеня важкості.

Матеріал і методи. Дослідження проведені у аномальних трихроматів з еметропічною рефракцією і гостротою зору 1,0. Група протанів: протаномалія типу С — 132 особи (264 ока), типу В — 138 пацієнтів (276 очей) і типу А — 120 пацієнтів (240 очей). Група дейтанів: дейтероаномалія типу С — 366 осіб (732 ока), дейтероаномалія типу В — 207 осіб (414 очей) і типу А — 30 осіб (60 очей). Контрольну групу склали 77 нормальних трихроматів без супутньої офтальмологічної і соматичної патології. Вік усіх учасників дослідження — 16–33 роки. Гостроту розпізнавання кольорів визначали на аномалоскопі АН-59 за трьома випробуваннями — 1 (червоний), 2 (зелений) і 3 (синій) кольори в режимі плавної зміни

відмінностей кольорів. Також розраховувався коефіцієнт аномальності.

Результати. Гострота розпізнавання кольорів по їх порогових величинах за аномалоскопом була найвищою для синього кольору і найнижчою — для червоного кольору як у нормальних, так і аномальних трихроматів. У нормальних трихроматів поріг на синій колір в середньому склав 10,3 відн. од., на зелений — 15,3 відн. од., на червоний колір — 17,1 відн. од. Найбільш виражене зниження гостроти розпізнавання кольору було у аномальних трихроматів типу А (від 14 % до 18,3 %), найменш виражене — при аномалії типу С (від 3,9 % до 9,7 %) для всіх трьох кольороприймачів. Спектральна аномальність характеризується коефіцієнтом аномальності (КА), який у аномальних протанів коливався від 0,34 до 0,52, зменшуючись при посиленні ступеня її важкості на 18,3 %. КА при ступені С дорівнював $0,49 \pm 0,01$, а при ступені А — $0,40 \pm 0,03$. У аномальних дейтанів КА коливався від 2,63 до 3,56, збільшуючись при посиленні ступеня аномальності на 10,7 %. При ступені С він дорівнював $2,8 \pm 0,08$, а при ступені А — $3,10 \pm 0,20$.

Висновки: визначена гострота розпізнавання кольорів у аномальних трихроматів різного ступеня тяжкості.

Ключові слова: аномальна трихромазія, гострота розпізнавання кольорів, коефіцієнт аномальності, аномалоскоп

Поступила 21.03.2017