

УДК 617.7–537.213:612.843.31-073

## Биоэлектрическая активность зрительного анализатора на ахроматические и хроматические стимулы по зрительно-вызванным потенциалам у нормальных трихроматов и цветослепых

Н. И. Храменко, канд. мед. наук, А. В. Пономарчук, врач, С. Б. Слободяник, канд. мед. наук

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

E-mail: khramenkoni@mail.ru

**Актуальность.** Для диагностики нарушений цветового зрения используются психофизические методы, из которых наиболее известны полихроматические таблицы и исследование на спектральном аномалоскопе. Однако все они основаны на субъективных ответах исследуемого, что не позволяет использовать их у ряда пациентов. В настоящее время для диагностики цветового зрения были предложены электрофизиологические методы, в частности, регистрация зрительных вызванных потенциалов. Предполагается их высокая диагностическая значимость.

**Цель:** изучить биоэлектрическую активность зрительного анализатора на ахроматические и хроматические стимулы по зрительно-вызванным потенциалам у нормальных трихроматов и цветослепых на красный и зеленый цвет.

**Материал и методы.** Исследование проведено у 17 нормальных трихроматов, 16 протанопов и 29 дейтеранопов в возрасте – 17-30 лет. Зрительные вызванные потенциалы (ЗВП) регистрировали в ответ на стимуляцию реверсивным шахматным паттерном – черно-белым и хроматическим (красно-черный; зелено-черный; сине-черный; красно-зеленый и сине-желтый) с угловым размером клеток 1° и 15', частотой реверсии 1,5 Гц, контрастом 97%. Оценивались временные и амплитудные характеристики волн N75, N135 и P100.

**Результаты.** Латентность волн N75, P100 и N135 для черно-белого паттерна размерами 1° и 15' у протанопов и дейтеранопов не отличается от нормы; амплитуда, напротив, ниже, чем у нормальных трихроматов. Для хроматических паттернов латентность волны N75 у лиц с нарушениями цветового зрения практически равна таковой у нормальных трихроматов, а латентность волны P100 на сине-черный и красно-зеленый паттерны выше нормы. В целом показатели латентности более высокие для хроматических стимулов по сравнению с ахроматическим, за исключением ответа на сине-желтый паттерн, где они равны.

Амплитуда волн P100 и N135 для черно-белого и хроматических паттернов размерами 1° и 15' у лиц с нарушениями цветового зрения ниже, чем у нормальных трихроматов. Амплитуда волны N135 для черно-белого паттерна размерами 1° и 15' равна амплитуде волны P100 как для нормальных трихроматов, так и цветоаномалов. Для хроматических паттернов амплитуда волны N135 на стимул размером 0°15' несколько больше, чем для стимула размером 1°.

Коэффициент вариабельности латентности для ахроматических и хроматических паттернов у нормальных трихроматов составил 5,9%, у протанопов и дейтеранопов – 6,6%; соответственно для амплитуды в норме он был равен 38,4% и превышал 50% у цветоаномалов.

**Вывод.** Выявлены особенности биоэлектрической активности зрительного анализатора по зрительным вызванным потенциалам у цветослепых на красный и зеленый цвет. Полученные данные позволяют рассматривать ЗВП в качестве объективного метода диагностики цветовых нарушений и требуют дальнейшего исследования.

### Ключевые слова:

цветовое зрение, нормальная трихроматизация, протанопия, дейтеранопия, зрительные вызванные потенциалы

**Актуальность.** Способность глаза распознавать миллионы цветовых оттенков дает возможность животным и человеку различать объекты и их пространственные взаимоотношения, что способствует более благоприятному существованию живого организма в окружающей среде, а, следовательно, и его выживанию [3].

Теория цветового зрения исходит из условного деления единого процесса формирования цветоощущения на несколько этапов в зависимости от а) прохождения светового луча через пререцепторные фильтры (зрачок, хрусталик, глубокие оптические среды) и макулярный пигмент; б) поглощения световой энергии колбочковыми фотопигментами (длинно-, средне- и коротковолновые колбочки) и проведения нервного импульса по пострецепторным каналам передачи цветового ощущения (красно-зеленый, синий и ахроматический каналы). Общеизвестно, что главную роль в формировании цветоощущения играют колбочковые фотопигменты и пострецепторные цветовые каналы [5].

По современным представлениям, врожденные нарушения цветового зрения, встречающиеся у 8-10% мужчин и 0,4-0,5% женщин, являются результатом неправильной цветопередачи вследствие дефекта либо отсутствия того или иного рецепторного фотопигмента. Наиболее часто встречаются нарушения цветового зрения в пределах красного и зеленого спектра (протаны и дейтаны), крайне редко регистрируются нарушения ощущения синего цвета (один случай на несколько десятков тысяч) и полная потеря цветового зрения – ахроматопсия [5].

Для диагностики цветового зрения существует ряд различных способов и методик. Одни из них – в частности, изополихроматические таблицы (Рабкина Ишихары и др.) – обладают низкой диагностической точностью и больше подходят для скринингового выявления факта нарушения цветоощущения без его детализации. Исследование на спектральном аномалоскопе является более подробным, позволяя не только выявлять наличие нарушения цветовосприятия, но также установить его вид – аномальная трихроматизация (прото- или дейтероаномалия) или дихроматизация (прото- или дейтероаномалия) – и степень, а также определить остроту цветоразличения трех основных цветопримеников. Для точной диагностики врожденных нарушений красно-зеленого цветоприменика исследование на аномалоскопе является эталонным [1].

Тем не менее, все эти методы, являясь психофизическими, основаны на субъективных ответах исследуемого, что не позволяет использовать их у ряда пациентов [4].

В настоящее время появились немногочисленные исследования, в которых для диагностики цветового зрения были предприняты попытки применить электрофизиологические методы, в частности, регистрацию зрительных вызванных потенциалов (ЗВП) на хроматические и ахроматические стимулы [2]. Счита-

ется, что хроматические ЗВП избирательно тестируют парвоцеллюлярный зрительный путь, отвечающий за обработку и передачу информации о цвете [6]. Однако до сих пор достоверно неизвестно, какие кортикальные участки ответственны за генерацию компонентов сигнала хроматических ЗВП [2].

Интерес к использованию зрительных вызванных потенциалов для исследования цветового зрения возрастает. В последние годы появились работы, в которых утверждается высокая диагностическая ценность данного метода. Так, Rabin J.C. с соавт. (2016) считают, что хроматические ЗВП имеют 100% чувствительность для диагностики нарушения цветового зрения и 94% специфичность для подтверждения нормальной трихроматизации [4].

**Цель** исследования – изучить биоэлектрическую активность зрительного анализатора на ахроматические и хроматические стимулы по зрительно-вызванным потенциалам у нормальных трихроматов и цветослепых на красный и зеленый цвет.

#### Материал и методы

Исследование было проведено у 17 соматически и офтальмологически здоровых добровольцев – нормальных трихроматов, а также у 16 цветослепых на красный цвет – протанопов и у 29 цветослепых на зеленый цвет – дейтеранопов. Все пациенты были в возрасте 17-30 лет.

Зрительные вызванные потенциалы (ЗВП) регистрировали на приборе «RetiScan» (Roland Consult, Germany). В качестве стимула использовались реверсивные шахматные паттерны – черно-белый и хроматические: красно-черный – R, red (R=255 по программной цветовой RGB-шкале), зелено-черный – G, green (G=200), сине-черный – B, blue (B=255); а также оппонентные цветовые пары – красно-зеленый (R-G) и сине-желтый (B-Y). Угловые размеры клеток паттерна составляли 1° и 0°15', частота реверсии – 1,5 Гц, контраст 97%. Стимул предъявлялся на дисплее электронно-лучевой трубки с диагональю 19". Исследование проводилось монокулярно для каждого глаза. Оценивались амплитудные и временные характеристики (латентность) трех основных компонентов реверсивных паттерн-ЗВП: негативных волн N75, N135 и позитивной P100.

Статистическую обработку полученных данных осуществляли по критерию Стьюдента и непараметрическому критерию Манна-Уитни с помощью программы Statistica 8.0

#### Результаты

**Черно-белый паттерн.** У нормальных трихроматов показатели ЗВП на черно-белый паттерн 1° и 15' правого и левого глаза статистически не различались и имели следующие средние значения: латентность негативной волны N75 на паттерн 1° равнялась 72,1±0,7 мс, на паттерн 15' латентность была на 7 мс больше (9,7% p<0,05) и равнялась 79,1±0,5 мс. Латентность позитив-

ной волны P100 и негативной волны N 135 была одинакова для всех угловых величин паттернов и составила  $103 \pm 1,0$  и  $146,8 \pm 1,8$  мс, соответственно. Амплитуда позитивной волны P100 и негативной волны N135 на паттерны  $1^\circ$  и  $15'$  была одинаковой на обоих глазах и равнялась в среднем  $17,2 \pm 1,0$  мкВ (таб.1). Коэффициент вариации (КВ) для всех показателей латентности составил в среднем 5,6%, показатели амплитуды оказались более вариабельными – 34,4%.

У протанопов латентность волны N75 на черно-белый паттерн  $1^\circ$  равнялась  $69,8 \pm 0,84$  мс с КВ= 6,8%, а на паттерн  $15'$  была на 10,3% больше ( $p < 0,05$ ), достигая  $76,9 \pm 1,0$  мс. Латентность позитивной волны P100 на  $1^\circ$  и  $15'$  в среднем равнялась  $102,7 \pm 1,0$  мс с соответствующим КВ = 6,2% и 5,6% .

Амплитуда ЗВП у протанопов на черно-белый паттерн практически была одинакова как для позитивной волны P100, так и негативной волны N135 независимо от величины паттерна  $1^\circ$  или  $15'$  и колебалась от  $9,9 \pm 1,1$  до  $11,1 \pm 1,1$  мкВ при средней амплитуде для всех паттернов  $10,4 \pm 1,0$  мкВ (табл. 1).

Следует отметить, что КВ амплитуды ЗВП (55,8%) почти в 10 раз превышал показатель вариабельности латентности.

У дейтеранопов латентность волны N75 на черно-белый паттерн  $15'$  превышала аналогичный показатель для паттерна  $1^\circ$  на 8,2 мс (14,3%),  $p < 0,05$  (табл. 1). Средние показатели латентности волны P100 и волны N135 для паттернов  $1^\circ$  и  $15'$  были одинаковы и, соот-

ветственно, равнялись 105,8 и 145,8 мс (табл. 1). Величина амплитуды также была одинакова для обоих паттернов как для волны P100, так и N135 и равнялась в среднем 10,9 мкВ. КВ для латентности был равен 5,6%, амплитуды – 37,5%.

**Красно-черный паттерн.** У нормальных трихроматов латентность негативной волны N75 на красно-черный паттерн  $1^\circ$  равнялась  $75,3 \pm 1,0$  мс, на паттерн  $15'$  – на 8,9 мс (11,8%) больше, составив  $84,1 \pm 0,8$  мс ( $p < 0,05$ ). Латентность волны P100 была одинакова для обоих паттернов и равнялась  $105,5 \pm 1,1$  мс, латентность волны N135 –  $146,4 \pm 1,0$  мс (табл. 2). Амплитуда волны P100 для обоих паттернов была практически одинаковой и равнялась в среднем  $13,1 \pm 1,0$  мкВ. Амплитуда волны N135 для паттерна  $1^\circ$  составил  $12,5 \pm 0,6$  мкВ, а для паттерна  $15'$  –  $16,1 \pm 1,0$  мкВ, т.е. на 28,9% выше ( $p < 0,05$ ).

У протанопов латентность волны N75 и волны P100 на красно-черный паттерн  $15'$  была, соответственно, на 12,4 мс (7,2%) и 6,5 мс (6,1%) больше, чем на паттерн  $1^\circ$ . Латентность волны N 135 была одинакова для паттернов  $1^\circ$  и  $15'$  и равнялась 147,7 мс. Амплитуды волны P100 ( $1^\circ$  и  $15'$ ) и волны N 135 ( $1^\circ$ ) были одинаковы и равнялась в среднем  $7,8 \pm 0,7$  мкВ и лишь амплитуда волны N135( $15'$ ) была на 2,8 мкВ (32,3%) выше. КВ латентности в среднем был равен 6,5%, а амплитуды – 50%.

У дейтеранопов латентность волны N75 на красно-черный паттерн  $15'$  равнялась  $81,4 \pm 1,1$  мс и была на

**Таблица 1.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на черно-белый паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M $\pm$ m	M $\pm$ m	M $\pm$ m
<b>Латентность</b>				
N75	$1^\circ$	$72,1 \pm 0,6$	$69,8 \pm 0,8$	$71,6 \pm 0,7$
	$15'$	$79,1 \pm 0,5^*$	$77,0 \pm 1,0^*$	$79,7 \pm 0,6^*$
P100	$1^\circ$	$102,9 \pm 1,0$	$102,4 \pm 1,1$	$105,9 \pm 0,8$
	$15'$	$103,3 \pm 1,0$	$103,0 \pm 1,0$	$105,6 \pm 0,9$
N135	$1^\circ$	$147,5 \pm 1,5$	$146,3 \pm 1,1$	$146,8 \pm 0,9$
	$15'$	$146,0 \pm 1,9$	$143,4 \pm 1,1$	$144,8 \pm 1,0$
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	$1^\circ$	$17,2 \pm 1,1$	$10,4 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,5$
	$15'$	$18,0 \pm 0,9$	$9,9 \pm 1,1$	$10,7 \pm 0,5$
P100–N135	$1^\circ$	$16,2 \pm 1,0$	$9,9 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,7$
	$15'$	$17,3 \pm 1,0$	$11,1 \pm 1,1$	$10,8 \pm 0,6$

Примечание. \* – уровень значимости различий  $p < 0,05$  между показателями с угловым размером паттернов  $1^\circ$  и  $15'$

**Таблица 2.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на красно-черный паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M $\pm$ m	M $\pm$ m	M $\pm$ m
<b>Латентность</b>				
N75	$1^\circ$	$75,3 \pm 1,0$	$72,1 \pm 1,3$	$72,8 \pm 0,9$
	$15'$	$84,1 \pm 0,8$	$84,5 \pm 1,4^*$	$81,4 \pm 1,1$
P100	$1^\circ$	$104,1 \pm 1,1$	$105,7 \pm 1,5$	$108,8 \pm 1,1$
	$15'$	$106,8 \pm 1,1$	$112,2 \pm 1,4^*$	$109,0 \pm 1,1$
N135	$1^\circ$	$145,5 \pm 1,3$	$146,8 \pm 0,7$	$145,4 \pm 0,9$
	$15'$	$147,3 \pm 0,7$	$148,5 \pm 0,5^*$	$146,5 \pm 1,3$
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	$1^\circ$	$11,9 \pm 0,9$	$7,4 \pm 0,6$	$8,3 \pm 0,5$
	$15'$	$14,2 \pm 1,0$	$7,4 \pm 0,8$	$8,9 \pm 0,7$
P100–N135	$1^\circ$	$12,5 \pm 0,6$	$8,7 \pm 0,7$	$9,2 \pm 0,6$
	$15'$	$16,1 \pm 1,0$	$11,5 \pm 0,9^*$	$11,7 \pm 0,9^*$

Примечание. \* – уровень значимости различий  $p < 0,05$  между показателями с угловым размером паттернов  $1^\circ$  и  $15'$

11,9% выше ( $p < 0,05$ ), чем ответ на паттерн  $1^\circ$  –  $72,3 \pm 0,9$  мс. Латентность волн P100 и N135 для паттернов  $1^\circ$  и  $15'$  была одинакова и соответственно равнялась 109 и 145,9 мс. Величина амплитуды волн P100 и N135 на  $1^\circ$  была одинаковой и в среднем равнялась 8,8 мкВ, в то время как значение амплитуды волны N135 на  $15'$  было на 27,3% выше –  $11,7 \pm 0,9$  мс. Вариабельность латентности в среднем составила 7,3%, тогда как для амплитуды – 49,2%.

**Зелено-черный паттерн.** У нормальных трихроматов латентность волны N75 на зелено-черный паттерн  $1^\circ$  составила  $77,2 \pm 0,9$  мс, на паттерн  $15'$  –  $85,4 \pm 0,7$  мс, т.е. была выше на 10,7% ( $p < 0,05$ ). Латентность волн P100 и N135 была одинакова для обоих паттернов и равнялась  $109,1 \pm 1,0$  мс и  $149,5 \pm 1,9$  мс, соответственно (табл. 3). Амплитуда волны P100 на паттерн  $1^\circ$  равнялась  $12,1 \pm 0,8$  мкВ, а на паттерн  $15'$  –  $15,2 \pm 1,1$  мкВ, т.е. была на 25,7% выше. Амплитуда волны N135 была одинакова для обоих паттернов и равнялась в среднем  $15,1 \pm 0,8$  мкВ.

У протанопов на зелено-черный паттерн угловой величины  $1^\circ$  латентность волны N75 равнялась  $74,5 \pm 1,1$  мс, а на  $15'$  была на 9,3% больше –  $81,4 \pm 0,9$  мс. Латентность волны P100 на паттерн была одинаковой для паттернов обоих размеров и равнялась в среднем  $106 \pm 1,2$  мс; латентность N135 была также одинаковой –  $146,1 \pm 0,9$  мс. КВ латентности равнялся в среднем 5,7%.

Амплитуда волны P100 ( $1^\circ$  и  $15'$ ), а также волны N135 на  $1^\circ$  была одинаковой и равнялась в среднем

$8,8 \pm 0,8$  мкВ. Амплитуда волны N135 для паттерна  $15'$  ( $12,2 \pm 1,1$  мкВ) была выше, чем для паттерна  $1^\circ$  ( $9,5 \pm 0,9$  мкВ) на 30% ( $p < 0,05$ ). КВ амплитуды превышал коэффициент вариабельности латентности почти в 10 раз и достигал 52,3%.

У дейтеранопов латентность волны N75 на паттерн  $15'$  ( $74,9 \pm 1,2$  мс) в сравнении с ответом на паттерн  $1^\circ$  ( $82,9 \pm 1,1$  мс) была длиннее на 10,6% ( $p < 0,05$ ). Латентность волн P100 и N135 на паттерны  $1^\circ$  и  $15'$  были одинаковы и равнялись, соответственно, 111 и 148 мс (табл. 3). Величина амплитуды волн P100 и N135 для паттерна  $1^\circ$  была одинакова и равнялась 8,4 мкВ, тогда как амплитуда волны N135 на паттерн  $15'$  была на 2,7 мкВ (29%) выше. Вариабельность латентности составила 7,9%, амплитуды – 53,9%.

**Сине-черный паттерн.** У нормальных трихроматов латентность волны N75 на сине-черный паттерн  $1^\circ$  составила  $76,6 \pm 1,2$  мс, а на  $15'$  –  $84,4 \pm 0,8$  мс, т.е. на 10,2% выше ( $p < 0,05$ ). Латентность волн P100 и N135 была одинакова для обоих паттернов и равна  $106,6 \pm 1,2$  мс и  $145,8 \pm 1,6$  мс соответственно. Амплитуда волны P100 составила в среднем  $11,5 \pm 0,9$  мкВ. Амплитуда волны N135 для паттерна  $10'$  составила  $11,6 \pm 0,8$  мкВ, а для паттерна  $15'$  была на 3,6 мкВ (на 31,3%) больше (табл. 4).

У протанопов величина латентности волн N75 и P100 на сине-черный паттерн размером  $15'$  превышала аналогичные показатели ответа на паттерн  $1^\circ$  – соответственно, на 8,3 мс (11,3%) и 6,1 мс (5,9%).

**Таблица 3.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на зелено-черный паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M±m	M±m	M±m
<b>Латентность</b>				
N75	$1^\circ$	$77,2 \pm 0,9$	$74,5 \pm 1,1$	$74,9 \pm 1,2$
	$15'$	$85,4 \pm 0,7^*$	$81,4 \pm 0,9$	$82,9 \pm 1,1$
P100	$1^\circ$	$107,9 \pm 0,9$	$105,3 \pm 1,5$	$110,6 \pm 1,2$
	$15'$	$110,3 \pm 1,2$	$106,7 \pm 0,9$	$111,4 \pm 1,1$
N135	$1^\circ$	$148,8 \pm 1,2$	$145,6 \pm 0,9$	$147,0 \pm 1,2$
	$15'$	$150,2 \pm 1,6$	$146,5 \pm 0,9$	$149,1 \pm 1,4$
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	$1^\circ$	$12,1 \pm 0,8$	$8,3 \pm 0,7$	$7,2 \pm 0,6$
	$15'$	$15,2 \pm 1,1^*$	$8,5 \pm 0,8$	$8,9 \pm 0,7$
P100–N135	$1^\circ$	$14,2 \pm 0,7$	$9,5 \pm 0,9$	$9,2 \pm 0,8$
	$15'$	$15,9 \pm 0,9$	$12,2 \pm 1,1^*$	$11,9 \pm 0,9^*$

Примечание. \* – уровень значимости различий  $p < 0,05$  между показателями с угловым размером паттернов  $1^\circ$  и  $15'$

**Таблица 4.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на сине-черный паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M±m	M±m	M±m
<b>Латентность</b>				
N75	$1^\circ$	$76,6 \pm 1,2$	$73,0 \pm 1,1$	$74,9 \pm 1,2$
	$15'$	$84,4 \pm 0,8^*$	$81,3 \pm 1,4^*$	$85,4 \pm 1,0^*$
P100	$1^\circ$	$105,4 \pm 1,0$	$103,2 \pm 1,2$	$111,6 \pm 1,1$
	$15'$	$107,8 \pm 1,3$	$109,2 \pm 1,3^*$	$113,7 \pm 1,2$
N135	$1^\circ$	$144,9 \pm 1,9$	$146,6 \pm 0,8$	$148,4 \pm 0,8$
	$15'$	$146,6 \pm 1,3$	$148,3 \pm 1,5$	$148,6 \pm 0,9$
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	$1^\circ$	$10,4 \pm 0,8$	$8,1 \pm 0,7$	$7,6 \pm 0,6$
	$15'$	$12,5 \pm 0,9$	$8,0 \pm 0,8$	$8,2 \pm 0,7$
P100–N135	$1^\circ$	$11,6 \pm 0,8$	$9,5 \pm 0,9$	$9,5 \pm 0,8$
	$15'$	$15,2 \pm 0,97^*$	$11,4 \pm 1,1$	$10,5 \pm 0,9$

Примечание. \* – уровень значимости различий  $p < 0,05$  между показателями с угловым размером паттерна  $1^\circ$  и  $15'$

Латентность волны N135 для обоих паттернов составила 147,5 мс. Средняя амплитуда всех волн – 9,3 мкВ; выделяется более высокое значение амплитуды для волны N135 (15') – 11,4±1,1. КВ латентности для всех паттернов составил 6,7%, для амплитуды – 53,3%.

У дейтеранопов латентность волны N75 на паттерн 15' (74,9±1,2 мс) также больше, чем на паттерн 1° (85,4±1,0 мс) – на 14% (p<0,05). Латентность волн P100 и N135 была одинаковой для паттернов 1° и 15' и соответственно равнялась 112,7 и 148,5 мс. Величины амплитуд для волн P100 и N135 также были одинаковыми и в среднем для обоих паттернов равнялись 8,9 мкВ. КВ латентности составил в среднем 6,9%, амплитуды – 59,2%.

**Красно-зеленый паттерн.** У нормальных трихроматов ответ на красно-зеленый паттерн характеризовался одинаковой латентностью всех волн на паттерны обоих размеров: N75 – в среднем 82,8±1,4 мс, N135 – в среднем 145±1,5 мс, P100 – в среднем 106,9±1,3 мс (табл. 5). КВ латентности был равен 6,3%. Амплитуда волны P100 на паттерн 1° равнялась 6,5±0,5 мкВ, а на паттерн 15' – повышалась до 10±1,1 мкВ (p<0,05). Амплитуда волны N135 значимо не различалась для паттернов 1° и 15' и равнялась в среднем 12,3±1,1 мкВ. КВ амплитуды составил 44,9% (табл. 5).

У протанопов латентность волны N75 для паттерна размером 15' составила 79,2±2,9 мс, что на 15,3% больше, чем для ответа на паттерн 1° – 68,7±1,8 мс. Латентность волн P100 и N135 одинакова для обо-

их угловых размеров и в среднем равнялась 105,2 и 145,4 мс, соответственно. Амплитуда волн P100 и N135 на паттерны обоих размеров была практически одинаковой и составила в среднем 9,1 мкВ. Отмечается более высокое значение амплитуды волны N135 на паттерн 15' (12,4±2,1) (табл. 5). КВ латентности и амплитуды равнялся в среднем 7,9% и 46,8%, соответственно.

У дейтеранопов показатели латентности волны N75 равны для паттернов обоих размеров – в среднем 81,7 мс, а также для P100 (в среднем 113,3 мс) и N135 (в среднем 147,8 мс). Показатели амплитуды как P100, так и N135 равны и составили в среднем 7,3 мкВ. КВ латентности – 9,6%, амплитуды – 55,3%.

**Сине-желтый паттерн.** У нормальных трихроматов латентность волны N75 на сине-желтый паттерн размером 15' (83,9±1,1 мс) была более продолжительной, чем на паттерн размером 1° (81,7±1,6 мс) на 8,4%. Такая же картина наблюдалась и для латентности волны P100: 108,3±1,3 мс – на паттерн 15' и 105,5±1,2 мс – на паттерн 1°, т.е. на 3,9% меньше (табл. 6). Следует отметить, что величины латентности всех волн в ответ на сине-желтый паттерн такие же, как и при ахроматической стимуляции (табл. 1 и 6). Латентность волны N135 при сине-желтой стимуляции была одинакова для паттернов обоих размеров – в среднем 142,5±1,9 мс. КВ латентности – 6,3%. Амплитуда волн P100 и N135 на паттерн 15' была выше, чем на паттерн 1° на 5,4 мкВ (50%) (p<0,05) и 7,8 мкВ

**Таблица 5.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на красно-зеленый паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M±m	M±m	M±m
<b>Латентность</b>				
N75	1°	81,7±1,6	68,7±1,8	80,1±4,2
	15'	83,9±1,1	79,2±2,9*	83,2±2,3
P100	1°	105,5±1,2	104,6±3,9	114,5±2,1
	15'	108,3±1,3	105,8±2,6	112,0±2,3
N135	1°	144,3±1,3	143,7 ±1,8	147,8±2,0
	15'	146,0±1,6	147±1,7	
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	1°	6,5±0,5	7,3±0,9	6,6±0,9
	15'	10,0±1,1*	8,5±1,2	7,4±1,3
P100–N135	1°	11,1±0,9	8,2±1,1	7,8±1,0
	15'	13,5±1,2	12,4±2,1	7,4±1,3

Примечание. \* – уровень значимости различий p<0,05 между показателями с угловым размером паттерна 1° и 15'

**Таблица 6.** Показатели зрительно-вызванных потенциалов на сине-желтый паттерн у нормальных трихроматов и дихроматов

Показатели ЗВП		Нормальные трихроматы	Протанопы	Дейтеранопы
		M±m	M±m	M±m
<b>Латентность</b>				
N75	1°	72,8±1,4	69,0±2,2	71,3±1,9
	15'	78,9±0,6*	76,2±2,2*	79,1±1,5*
P100	1°	99,6±1,2	100,2±1,7	106,6±2,3
	15'	103,6±1,2*	101,7±2,2	105,1±1,3
N135	1°	141,3±2,1	137,7±4,3	147,2±1,1
	15'	143,7±1,7	147,7±0,9	147,1±1,9
<b>Амплитуда</b>				
N75–P100	1°	11,2±0,8	8,5±0,9	8,7±0,9
	15'	16,8±1,1*	9,1±1,5	10,4±1,4
P100–N135	1°	10,0±0,8	8,2±1,4	8,5±1,2
	15'	17,8±1,2*	13,1±1,5	12,9±1,7*

Примечание. \* – уровень значимости различий p<0,05 между показателями с угловым размером паттерна 1° и 0°15'

(78%) ( $p < 0,05$ ), соответственно. КВ для показателей амплитуды был равен 37,4%.

У протанопов показатель латентности волны N 75 на сине-желтый паттерн 15' ( $76,2 \pm 2,2$  мс) был на 10,4% выше, чем на паттерн 1° ( $69,0 \pm 2,2$  мс) ( $p < 0,05$ ). Латентность волны P100 и волны N 135 для паттернов обоих размеров была одинакова и в среднем равнялась 100,9 и 145,2 мс, соответственно. Амплитуда волны P100 на паттерны обоих размеров и волны N135 (1°) и равнялась в среднем 8,6 мкВ, в то время как амплитуда N135 (15') была на 59,8% выше ( $13,1 \pm 1,5$  мкВ). КВ латентности был равен 7,2%, а амплитуды – 44,3%.

У дейтеранопов латентность N75 на сине-желтый паттерн 15' ( $79,1 \pm 1,5$  мс) длительнее, чем на паттерн 1° ( $71,3 \pm 1,9$  мс) на 10,9%. Латентности волн P100 и N135 одинаковы для обоих размеров паттернов и равны в среднем 106,1 и 147,2 мс. Амплитуда волн P100 на паттерны обоих размеров и N135 (1°) в среднем равны 9,2 мкВ, а величина амплитуды N135 была вдвое выше амплитуды N135 (1°) – ( $12,9 \pm 1,7$  мкВ). КВ латентности составил 6,3%, амплитуды – 47,6%.

Таким образом, по результатам исследования зрительных вызванных потенциалов на ахроматические и хроматические паттерны установлено следующее.

#### **Нормальные трихроматы:**

– время латентности волн N75, P100 и N135 равно для всех цветных и черно-белого паттернов; латентность N75 на 8,8% больше в ответ на паттерн с меньшим (15') угловым размером;

– амплитуда волн для хроматических паттернов с угловым размером 1° меньше амплитуды волн на черно-белый паттерн на 49,6%, а для паттерна размером 15' – на 17%.

– вариабельность показателей одинакова для ахроматических и хроматических паттернов: для латентности – 5,9%, амплитуды – 38,4%.

#### **Протанопы:**

– латентность волны N75 на ахроматические и все хроматические паттерны размером 1° была одинакова, в то время как на паттерн размером 15' она была выше на 8,7 мс (12,3%); латентность волны N75 на черно-белые и сине-желтые паттерны размером 15' в среднем равнялась 76,6 мс, тогда как на другие хроматические паттерны (15') она была на 5 мс (6,5%) выше – 81,6 мс;

– латентность волны P100 была одинаковой для всех паттернов – 103,9 мс, за исключением ответа на красно-черный и сине-черный паттерны, где она была на 6,2 мс (6%) выше, достигая 110,7 мс; латентность волны N135 для всех паттернов была одинаковой и равнялась 146,1 мс;

– амплитуда волн P100 и N135 была одинакова для ахроматических и хроматических паттернов размерами 1° и 15' – в среднем 8,6 мкВ, что вдвое ниже аналогичных значений ответов на черно-белый паттерн у нормальных трихроматов; различия с ответами на хроматические стимулы не выявлены;

– амплитуда волн N135 на все паттерны размером 15' на 3,2 мкВ (37,2%) выше, чем ответов на паттерн размером 1°;

– КВ латентности волн ЗВП на все паттерны был одинаков – в среднем 6,6%, амплитуды – 50,4%, что выше аналогичного показателя нормальных трихроматов на 12%.

#### **Дейтеранопы:**

– латентность волны N75 для ахроматического и хроматических паттернов размером 1° была одинаковой и равнялась 74,3 мс; для паттернов размером 15' она была на 7,7 мс (10,3%) больше – 81,95 мс;

– латентность волны P100 на паттерны 1° и 15' всех стимулов была в пределах нормы – 109,6 мс, но для ахроматического и сине-желтого паттернов она была ниже (105,8 мс), чем для остальных хроматических паттернов (111,5 мс) на 5,7 мс (5,4%);

– латентность волны N135 для всех паттернов равнялась 147,2 мс;

– амплитуда волны P100 и N135 на черно-белые паттерны 1° и 15' была одинаковой и равнялась 10,9 мкВ;

– амплитуда волны P100 на хроматические паттерны 1° и 15' и волны N135 (1°) была одинаковой – 8,42 мкВ, что ниже ответа на ахроматический паттерн на 2,5 мкВ (22,8%); амплитуда волны N135 (15') на хроматические паттерны (красно-черный, красно-черный, сине-желтый) была на 3,8 мкВ (44,9%) выше и достигала 12,2 мкВ;

– КВ латентности на ахроматические и хроматические стимулы в среднем равнялся 6,34%; КВ амплитуды на ахроматические паттерны 1° и 15' в среднем равнялся 37,5%, на хроматические паттерны – 53,04%.

#### **Вывод**

Выявлены особенности биоэлектрической активности зрительного анализатора по зрительным вызванным потенциалам у цветослепых на красный и зеленый цвет. Полученные данные позволяют рассматривать ЗВП в качестве объективного метода диагностики цветовых нарушений и требуют дальнейшего исследования в этом направлении.



## Литература

1. Черкасова Д. Н., Бахолдин А. В. Оптические офтальмологические приборы и системы. – Ч.1. – Санкт-Петербург, 2010. – С.46–61.
2. Crognale M. A., Duncan C. S., Shoenhard H., Peterson D. J., Berryhill M. E. The locus of color sensation: cortical color loss and the chromatic visual evoked potential // J Vis. – 2013. – Aug 28; 13(10). – P. 1–11.
3. Jacobs G. H. Evolution of colour vision in mammals // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. – 2009. – Vol. 364. – P.2957–29.
4. Rabin J. C., Kryder A. C., Lam D. Diagnosis of Normal and Abnormal Color Vision with Cone-Specific VEPs // Transl Vis Sci Technol. – 2016. – May 17; 5(3).
5. Swanson W. H., Cohen J. M. Color vision. Ophthalmol // Clin North Am. – 2003. – Jun;16 (2). – P.179–203
6. Tekavčić Pompe M., Stirn Kranjc B., Breclj J. Chromatic VEP in children with congenital colour vision deficiency // Ophthalmic Physiol Opt. – 2010. – Sep; 30 (5). – P.693–8.

Поступила 05.04.2014

## Біоелектрична активність зорового аналізатора на ахроматичні та хроматичні стимули за даними зорових викликаних потенціалів у нормальних трихроматів та кольоросліпих

Храменко Н. І., Пономарчук О. В., Слободяник С. Б.

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

**Актуальність.** Для діагностики порушень кольорового зору використовуються психофізичні методи, з яких найбільш відомі поліхроматичні таблиці і дослідження на спектральному аномалоскопі. Однак всі вони засновані на суб'єктивних відповідях досліджуваного, що не дозволяє використовувати їх у деяких пацієнтів. На сьогодні для діагностики кольорового зору були запропоновані електрофізіологічні методи, зокрема, реєстрація зорових викликаних потенціалів. Передбачається їх висока діагностична значимість.

**Мета:** вивчити біоелектричну активність зорового аналізатора на ахроматичні і хроматичні стимули по зоровим викликаним потенціалам у нормальних трихроматів і кольоросліпих на червоний і зелений колір.

**Матеріал і методи.** Дослідження проведено у 17 нормальних трихроматів, 16 протанопів і 29 дейтеранопів. Вік досліджуваних - 17-30 років.

Зорові викликані потенціали (ЗВП) реєстрували у відповідь на стимуляцію реверсивним шаховим патерном - чорно-білим і хроматичним (червоно-чорний; зелено-чорний; синьо-чорний; червоно-зелений і синьо-жовтий) з кутовим розміром клітин  $1^\circ$  і  $0^\circ 15'$ , частотою реверсії 1,5 Гц, контрастом 97%. Оцінювалися часові і амплітудні характеристики хвиль N75, N135 і P100.

**Результати.** Латентність хвиль N75, P100 і N135 для чорно-білого патерна розмірами  $1^\circ$  і  $15'$  у протанопів і дейтеранопів не відрізняється від норми; амплітуда цих хвиль, навпаки, нижче, ніж у нормальних трихроматів. Для хроматичних патернів латентність хвилі N75 у осіб з порушеннями кольорового зору практично

дорівнює цьому показнику у нормальних трихроматів, а латентність хвилі P100 на синьо-чорний і червоно-зелений патерни вище норми – в більшій мірі у дейтеранопів, ніж у протанопів. В цілому показники латентності вищі для хроматичних стимулів в порівнянні з ахроматичними, за винятком синьо-жовтого патерну, де вони однакові.

В цілому амплітуда хвиль P100 і N135 як для чорно-білого, так і хроматичних патернів розмірами  $1^\circ$  і  $15'$  у осіб з порушеннями кольорового зору нижче, ніж у нормальних трихроматів. Амплітуда хвилі N135 для чорно-білого патерна розмірами  $1^\circ$  і  $15'$  дорівнює амплітуді хвилі P100 як для нормальних трихроматів, так і кольоросліпих. Для хроматичних патернів амплітуда хвилі N135 на стимул розміром  $0^\circ 15'$  децю вища, ніж для стимулу розміром  $1^\circ$ .

Коефіцієнт варіабельності латентності для ахроматичних і хроматичних патернів у нормальних трихроматів склав 5,9%, у осіб з порушеннями кольорового зору – 6,6%. Коефіцієнт варіабельності амплітуди дорівнював 38,4% у нормальних трихроматів і перевищував 50% у кольоросліпих.

**Висновок.** Виявлено особливості біоелектричної активності зорового аналізатора за даними зорових викликаних потенціалів у кольоросліпих на червоний і зелений колір. Отримані результати дозволяють розглядати ЗВП у якості об'єктивного методу діагностики порушень кольоросприйняття і потребують подальших досліджень.

**Ключові слова:** кольоровий зір, нормальна трихромазія, протанопія, дейтеранопія, зорові викликані потенціали