

Биолектрическая 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. Слободянник, канд. мед. наук

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

E-mail: khramenkon@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 биолектрическую 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 волн N75 у лиц с нарушениями цветового зрения практически равна таковой у нормальных трихроматов, а латентность волн 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 $0^\circ 15'$ 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 биолектрической 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 трихроматия, 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). Общепризнано, 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 (протоны 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 трихромазия (прото- или дейтероаномалия) или дихромазия (прото- или дейтероанопия) – и степень, а также определить остроту цветоразличения трех основных цветоприемников. Для точной диагностики врожденных нарушений красно-зеленого цветоприемника 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 трихромазии [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 трубы 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 $72,1 \pm 0,7$ мс, на паттерн 15' латентность была на 7 мс больше ($9,7\% p < 0,05$) и равнялась $79,1 \pm 0,5$ 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° и $15'$ была одинаковой на обоих глазах и равнялась в среднем $17,2 \pm 1,0$ мкВ (табл. 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° 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° 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° 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° на 8,2 мс (14,3%), $p < 0,05$ (табл. 1). Средние показатели латентности волны P100 и волны N135 для паттернов 1° 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° 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° 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° . Латентность волны N 135 была одинакова для паттернов 1° и $15'$ и равнялась 147,7 мс. Амплитуды волны P100 (1° и $15'$) и волны N 135 (1°) 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±m	M±m	M±m	M±m
Латентность				
N75	1°	$72,1 \pm 0,6$	$69,8 \pm 0,8$	$71,6 \pm 0,7$
	$15'$	$79,1 \pm 0,5 *$	$77,0 \pm 1,0 *$	$79,7 \pm 0,6 *$
P100	1°	$102,9 \pm 1,0$	$102,4 \pm 1,1$	$105,9 \pm 0,8$
	$15'$	$103,3 \pm 1,0$	$103,0 \pm 1,0$	$105,6 \pm 0,9$
N135	1°	$147,5 \pm 1,5$	$146,3 \pm 1,1$	$146,8 \pm 0,9$
	$15'$	$146,0 \pm 1,9$	$143,4 \pm 1,1$	$144,8 \pm 1,0$
Амплитуда				
N75–P100	1°	$17,2 \pm 1,1$	$10,4 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,5$
	$15'$	$18,0 \pm 0,9$	$9,9 \pm 1,1$	$10,7 \pm 0,5$
P100–N135	1°	$16,2 \pm 1,0$	$9,9 \pm 0,9$	$11,0 \pm 0,7$
	$15'$	$17,3 \pm 1,0$	$11,1 \pm 1,1$	$10,8 \pm 0,6$

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

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

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

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

11,9% выше ($p<0,05$), чем ответ на паттерн 1° – $72,3\pm0,9$ мс. Латентность волн P100 и N135 для паттернов 1° и $15'$ была одинакова и соответственно равнялась 109 и 145,9 мс. Величина амплитуды волн P100 и N135 на 1° была одинаковой и в среднем равнялась 8,8 мкВ, в то время как значение амплитуды волны N135 на $15'$ было на 27,3% выше – $11,7\pm0,9$ 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° составила $77,2\pm0,9$ мс, на паттерн $15'$ – $85,4\pm0,7$ мс, т.е. была выше на 10,7% ($p<0,05$). Латентность волны P100 и N135 была одинакова для обоих паттернов и равнялась $109,1\pm1,0$ мс и $149,5\pm1,9$ мс, соответственно (табл. 3). Амплитуда волны P100 на паттерн 1° равнялась $12,1\pm0,8$ мкВ, а на паттерн $15'$ – $15,2\pm1,1$ мкВ, т.е. была на 25,7% выше. Амплитуда волны N135 была одинакова для обоих паттернов и равнялась в среднем $15,1\pm0,8$ мкВ.

У протанопов на зелено-черный паттерн угловой величины 1° латентность волны N75 равнялась $74,5\pm1,1$ мс, а на $15'$ была на 9,3% больше – $81,4\pm0,9$ мс. Латентность волны P100 на паттерн была одинаковой для паттернов обоих размеров и равнялась в среднем $106\pm1,2$ мс; латентность N135 была также одинаковой – $146,1\pm0,9$ мс. КВ латентности равнялся в среднем 5,7%.

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

$8,8\pm0,8$ мкВ. Амплитуда волны N135 для паттерна $15'$ ($12,2\pm1,1$ мкВ) была выше, чем для паттерна 1° ($9,5\pm0,9$ 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 $15'$ ($74,9\pm1,2$ мс) в сравнении с ответом на паттерн 1° ($82,9\pm1,1$ мс) была длиннее на 10,6% ($p<0,05$). Латентность волн P100 и N135 на паттерны 1° и $15'$ были одинаковы и равнялись, соответственно, 111 и 148 мс (табл. 3). Величина амплитуды волн P100 и N135 для паттерна 1° 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° составила $76,6\pm1,2$ мс, а на $15'$ – $84,4\pm0,8$ мс, т.е. на 10,2% выше ($p<0,05$). Латентность волн P100 и N135 была одинакова для обоих паттернов и равна $106,6\pm1,2$ мс и $145,8\pm1,6$ мс соответственно. Амплитуда волны P100 составила в среднем $11,5\pm0,9$ мкВ. Амплитуда волны N135 для паттерна 10 составила $11,6\pm0,8$ 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° – 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	M±m
Латентность				
N75	1°	$77,2\pm0,9$	$74,5\pm1,1$	$74,9\pm1,2$
	$15'$	$85,4\pm0,7^*$	$81,4\pm0,9$	$82,9\pm1,1$
P100	1°	$107,9\pm0,9$	$105,3\pm1,5$	$110,6\pm1,2$
	$15'$	$110,3\pm1,2$	$106,7\pm0,9$	$111,4\pm1,1$
N135	1°	$148,8\pm1,2$	$145,6\pm0,9$	$147,0\pm1,2$
	$15'$	$150,2\pm1,6$	$146,5\pm0,9$	$149,1\pm1,4$
Амплитуда				
N75–P100	1°	$12,1\pm0,8$	$8,3\pm0,7$	$7,2\pm0,6$
	$15'$	$15,2\pm1,1^*$	$8,5\pm0,8$	$8,9\pm0,7$
P100–N135	1°	$14,2\pm0,7$	$9,5\pm0,9$	$9,2\pm0,8$
	$15'$	$15,9\pm0,9$	$12,2\pm1,1^*$	$11,9\pm0,9^*$

Примечание. * – уровень значимости различий $p<0,05$ между показателями с угловым размером паттернов 1° 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	M±m
Латентность				
N75	1°	$76,6\pm1,2$	$73,0\pm1,1$	$74,9\pm1,2$
	$15'$	$84,4\pm0,8^*$	$81,3\pm1,4^*$	$85,4\pm1,0^*$
P100	1°	$105,4\pm1,0$	$103,2\pm1,2$	$111,6\pm1,1$
	$15'$	$107,8\pm1,3$	$109,2\pm1,3^*$	$113,7\pm1,2$
N135	1°	$144,9\pm1,9$	$146,6\pm0,8$	$148,4\pm0,8$
	$15'$	$146,6\pm1,3$	$148,3\pm1,5$	$148,6\pm0,9$
Амплитуда				
N75–P100	1°	$10,4\pm0,8$	$8,1\pm0,7$	$7,6\pm0,6$
	$15'$	$12,5\pm0,9$	$8,0\pm0,8$	$8,2\pm0,7$
P100–N135	1°	$11,6\pm0,8$	$9,5\pm0,9$	$9,5\pm0,8$
	$15'$	$15,2\pm0,97^*$	$11,4\pm1,1$	$10,5\pm0,9$

Примечание. * – уровень значимости различий $p<0,05$ между показателями с угловым размером паттерна 1° 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') – $11,4 \pm 1,1$. КВ латентности для всех паттернов составил 6,7%, для амплитуды – 53,3%.

У дейтеранопов латентность волны N75 на паттерн 15' ($74,9 \pm 1,2$ мс) также больше, чем на паттерн 1° ($85,4 \pm 1,0$ 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 $82,8 \pm 1,4$ мс, N135 – в среднем $145 \pm 1,5$ мс, P100 – в среднем $106,9 \pm 1,3$ мс (табл. 5). КВ латентности был равен 6,3%. Амплитуда волны P100 на паттерн 1° равнялась $6,5 \pm 0,5$ мкВ, а на паттерн 15' – повышалась до $10 \pm 1,1$ мкВ ($p < 0,05$). Амплитуда волны N135 значимо не различалась для паттернов 1° и 15' и равнялась в среднем $12,3 \pm 1,1$ мкВ. КВ амплитуды составил 44,9% (табл. 5).

У протанопов латентность волны N75 для паттерна размером 15' составила $79,2 \pm 2,9$ мс, что на 15,3% больше, чем для ответа на паттерн 1° – $68,7 \pm 1,8$ 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' ($12,4 \pm 2,1$) (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' ($83,9 \pm 1,1$ мс) была более продолжительной, чем на паттерн размером 1° ($81,7 \pm 1,6$ мс) на 8,4%. Такая же картина наблюдалась и для латентности волны P100: $108,3 \pm 1,3$ мс – на паттерн 15' и $105,5 \pm 1,2$ 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 $142,5 \pm 1,9$ 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	M±m
Латентность				
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	
Амплитуда				
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	M±m
Латентность				
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
Амплитуда				
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 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' ($76,2\pm2,2$ мс) был на 10,4% выше, чем на паттерн 1° ($69,0\pm2,2$ 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 ($13,1\pm1,5$ мкВ). КВ латентности был равен 7,2%, а амплитуды – 44,3%.

У дейтеранопов латентность N75 на сине-желтый паттерн 15' ($79,1\pm1,5$ мс) длительнее, чем на паттерн 1° ($71,3\pm1,9$ мс) на 10,9%. Латентности волны P100 и N135 одинаковы для обоих размеров паттернов и равны в среднем 106,1 и 147,2 мс. Амплитуда волны P100 на паттерны обоих размеров и N135 (1°) в среднем равны 9,2 мкВ, а величина амплитуды N135 была вдвое выше амплитуды N135 (1°) – ($12,9\pm1,7$ 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 биолектрической 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.

Література

- Черкасова Д. Н., Бахолдин А. В. Оптические офтальмологические приборы и системы. – Ч.1. – Санкт-Петербург, 2010. – С.46–61.
- Cognale 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.
- Jacobs G. H. Evolution of colour vision in mammals // Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci. – 2009. – Vol. 364. – P.2957–29.
- 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).
- Swanson W. H., Cohen J. M. Color vision. Ophthalmol // Clin North Am. – 2003. – Jun;16 (2). – P.179–203
- Tekavčič 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

Біолектрічна активність зорового аналізатора на ахроматичні та хроматичні стимули за даними зорових викликаних потенціалів у нормальнích трихроматів та кольоросліпих

Храменко Н. І., Пономарчук О. В., Слободянік 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 дослідженого, що не дозволяє використовувати їх у деяких пацієнтів. На сьогодні для діагностики кольорового зору були запропоновані електрофізіологічні методи, зокрема, реєстрація зорових викликаних потенціалів. Переобирається їх висока діагностична значимість.

Мета: вивчити біолектрічну активність зорового аналізатора на ахроматичні і хроматичні стимули по зоровим викликаним потенціалам у нормальніх 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° 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° і $15'$ у протанопів і дейтеранопів не відрізняється від норми; амплітуда цих хвиль, навпаки, нижче, ніж у нормальніх трихроматів. Для хроматичних патернів латентність хвилі N75 у осіб з порушеннями кольорового зору практично

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

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

Висновок. Виявлено особливості біолектричної 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, нормальнна трихромазія, протанопія, дейтеранопія, зорові викликані потенціали