

# Определение офтальмологических признаков рассеянного склероза при помощи автоматизированной цветовой визоконтрастометрии

А. Е. Гапаненок

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

E-mail 19981939S@mail.ru

К. Н. Болсунов

*Санкт-Петербургский государственный  
электротехнический университет  
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)*

E-mail bolsunov\_k@mail.ru

**Аннотация.** Одними из самых распространённых в мире заболеваний являются заболевания ЦНС. Наиболее распространённым среди таких заболеваний является аутоиммунное заболевание – рассеянный склероз. По данным ВОЗ в мире насчитывается около 1,8 млн человек страдающих данным заболеванием [1]. Это обусловлено тем, что при рассеянном склерозе иммунная система разрушает миелиновую оболочку нервных волокон в головном и спинном мозге. Что приводит к необратимым изменениям слуха, зрения и сенсорных функций организма. Рассеянный склероз – серьезное и непредсказуемое заболевание, которое может возникнуть в любом возрасте, но чаще всего им страдают молодые люди в самую активную фазу жизни. Поэтому достаточно высок уровень заболеваемости, высокие показатели инвалидности, а также значительные экономические затраты на лечение и реабилитацию. Ранняя диагностика данного заболевания позволяет серьезно повысить эффективность применяемой иммуномодулирующей терапии, и увеличить время полноценной жизнедеятельности пациентов. В статье рассмотрен вариант использования метода автоматизированной оценки частотно-контрастной чувствительности зрительного анализатора, в качестве одного из элементов системы диагностики рассеянного склероза на самых ранних стадиях его развития.

**Ключевые слова:** *рассеянный склероз, ранняя диагностика, биотехническая методика, алгоритм проведения исследований, зрительные характеристики, пороговый контраст, пространственная частота, частотно-контрастная чувствительность, цветовая визоконтрастометрия*

## I. ОФТАЛЬМОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ РС

При РС нарушается проведение нервных импульсов от мозговых центров к внутренним органам и функциональным системам, что приводит к нарушению их работы, одними из первых негативному влиянию подвергаются именно зрительные функции.

В ряде исследований показано [1, 2], что оптическая нейропатия (ОН) может быть первым клиническим симптомом РС у 20 % пациентов с острым ОН, а вероятность развития установленного клинически РС в 50 % случаев может достигать 15 лет после появления первых офтальмологических симптомов.

Видов офтальмологических нарушений при РС огромное множество, появление какого-либо из них зависит от того какие конкретно зоны мозга поражены.

В случае поражения ствола мозга будут наблюдаться глазодвигательные нарушения, которые, как правило, сопровождаются жалобами на двоение зрительных образов. Поражение в области заднего продольного пучка может обусловить развитие синдрома офтальмоплегии, а типичным поражением верхних отделов ствола мозга является нистагм.

Также при рассеянном склерозе наблюдается комплекс зрительных симптомов, включающих ухудшение остроты зрения (от незначительного до сведения зрительного восприятия лишь к светоощущению, при этом может наблюдаться быстрое его снижение – в течение нескольких часов или в течение 1–2 дней или недели), боль при движениях глаз (особенно при взгляде вверх), связанная с раздражением оболочек зрительного нерва и нередко сочетающаяся с головной болью (преимущественно в лобно-теменной или затылочной областях), появление пятна перед глазом – центральной или парацентральной скотомы, концентрическое сужение поля зрения, нарушения зрачковых реакций, пространственного, «объемного» зрения (разница между глубиной восприятия и стереоскопическим зрением), повышение светочувствительности (повышенная чувствительность к яркому свету), изменение цветового зрения (с преобладанием серого цвета, сужение полей зрения на зеленый и/или красный цвета), потерю яркости и нарушение контрастности (выявляется более чем у половины больных) [1, 2, 7, 8].

Также типичными проявлениями РС являются не координированные движения глазных яблок, нередко косоглазие, ограничение подвижности глазных яблок кнутри или кнаружи.

Наиболее частым и характерным проявлением РС со стороны органа зрения является нисходящий оптический неврит (ОН) зрительного нерва (как правило, с ретробульбарным характером поражения) [1].

## II. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для своевременной диагностики поражения зрительного анализатора при РС часто используются стандартные офтальмологические методы обследования: периметрия, визометрия, офтальмоскопия. Однако при отсутствии ретробульбарного неврита у больных РС применение этих классических методов не позволяет объективно подтвердить вовлечение зрительного анализатора в демиелинизирующий процесс [2–4]. Считается, что в данном случае для диагностики требуется использовать дополнительные как объективные, так и субъективные методы: комплексное электрофизиологическое исследование – зрительные вызванные потенциалы на шахматный паттерн и мультифокальные зрительные вызванные потенциалы; электроретинографию; оценку толщины перипапиллярного слоя нервных волокон сетчатки методом оптической когерентной томографии или сканирующей лазерной поляриметрии; исследование цветовой чувствительности; оценку контрастной чувствительности при визоконтрастометрии и низкоконтрастные тесты [2].

В ряде научных работ показано, что исследование контрастной чувствительности (КЧ) при РС – один из чувствительных методов ранней диагностики активации паталогического процесса или выявления бессимптомного его течения [7, 8]. Снижение чувствительности к низким и средним пространственным частотам приводит к понижению отношения сигнал/шум в зрительной системе и соответствующим клиническим проявлениям. Контраст внутреннего шума у пациентов с РС более чем в 2 раза выше, чем у здоровых людей [5]. Исследование КЧ позволяет (иногда на самых ранних стадиях) подтвердить развитие ретробульбарного неврита, еще до снижения остроты зрения и появления центральной скотомы. При этом отмечается понижение КЧ в диапазоне низких и частично высоких пространственных частот [3]. При остром ретробульбарном неврите изменения КЧ на ахроматические и цветные тестовые изображения (красный, зеленый, синий) отмечаются преимущественно в области высоких пространственных частот [6]. Показано, что у пациентов с РС без ретробульбарного неврита наиболее значимые изменения в чувствительности наблюдаются в диапазоне низких пространственных частот (в 95 % случаев), при этом более 40 % – выраженные изменения. При оценке всей выборочной совокупности пациентов с РС на средних частотах нарушения встречаются в 60 %, на высоких – в 45 % [2].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование метода визоконтрастометрии – оценки контрастных характеристик зрительного восприятия позволяет выявить нарушения функций зрения различного характера, свойственных для ранних стадий развития РС. Следовательно, модуль автоматизированной оценки частотно-контрастной чувствительности (ЧКЧ) зрения может быть использован в качестве одного из элементов биотехнической системы ранней диагностики РС (наряду с другими блоками (структурными элементами) исследования зрительных, слуховых и моторных функций организма).

## III. СИСТЕМА ЦВЕТОВОЙ ВИЗОКОНТРАСТОМЕТРИИ

Для реализации процедуры оценки контрастной чувствительности зрительного анализатора был разработан программный комплекс, позволяющий осуществить измерения модуляционных пространственных передаточных функций зрительной системы человека. Методика оценки контрастной чувствительности, используемая в рассматриваемой реализации программного комплекса, основана на различении пациентом периодичности тестового стимула при достижении его контраста пороговой величины.

В ходе проведения психофизиологического эксперимента испытуемому предъявляются тестовые изображения в виде полос (решеток) с синусоидальным распределением яркости и определяется пороговый контраст (контрастная чувствительность) зрения на соответствующем наборе пространственных частот. В связи с тем, что при РС снижение контрастной чувствительности может наблюдаться как к низким и средним, так и высоким пространственным частотам, программный комплекс позволяет сформировать и использовать для тестирования стимулы с линейной частотой от 5 до 240 циклов (с шагом в 5 циклов).

Реальная пространственная частота генерируемого тестового изображения рассчитывается автоматически, исходя из расстояния, на котором при проведении тестовых испытаний располагается пациент от системы отображения информации и ее технических характеристик (текущего логического разрешения экрана, его максимальной разрешающей способности, размера эффективного поля отображения информации, плотности пикселей). Часть технических параметров определяется автоматически, другая задается пользователем при настройке системы.

Несмотря на универсальность используемого для формирования тестовых стимулов подхода, рекомендуется, при организации процесса исследований, проводить психофизиологический эксперимент при фиксированных (одинаковых) настройках. Например, при использовании в качестве системы отображения монитора Asus ROG Swift PG27UQR, рекомендуемое расстояние от пациента до системы отображения тестовых стимулов составляет 3,4 м, что обеспечивает формирование «синусоидальных решеток» в диапазоне от 0,5 до 24 циклов/градус (при минимальных пространственных искажениях формируемого изображения). Программный комплекс (в текущей версии) предназначен для функционирования в одном из стандартных режимов отображения информации (разрешения экрана): 1024x768, 1280x1024, 1366x768, 1920x1080, 3840x2160 пикселей. Следует учитывать, что низкое разрешение экрана не позволяет проводить оценку зрительных характеристик на высоких пространственных частотах и может быть рекомендовано к использованию только в обучающих целях или при оценке подозрений на ретробульбарный неврит. Использование режимов FHD и 4K (особенно при глубине цвета в 10 бит на пиксель) позволяет получить необходимый диапазон пространственных частот тестовых стимулов при допустимых уровнях пространственных и яркостных искажений.

Поскольку изменение цветовой чувствительности является частым симптомом при РС (особенно характерны нарушения в диапазоне желто-голубого и красно-зеленого спектра) [2], то в программном комплексе предусмотрен режим тестирования не только с применением ахроматических тестовых стимулов. Существует возможность использовать «синусоидальные решетки» еще шести цветов: красного, зеленого, синего, желтого, голубого и фиолетового.

Исследования частотно-контрастной чувствительности может осуществляться как бинокулярно, так и монокулярно – отдельно для левого и правого каналов зрительного восприятия.

Для регистрации ответной реакции пациента на предъявляемые тестовые стимулы применяется активно-манипуляторный метод – при различении периодичности тестовой решетки на экране системы отображения информации, испытуемый реализует простое моторное действие – нажимает кнопку на специализированном пульте.

Для повышения достоверности полученных (в ходе реализации субъективных методов исследования) результатов используется многократное повторное тестирование на каждой пространственной частоте с их последующей статистической обработкой. Последовательность формирования и предъявления испытуемому соответствующей «синусоидальной решетки» заданной частоты задается случайным образом. Тестовые стимулы отображаются на экране через промежутки времени, имеющие случайную длительность, превышающую требуемое для адаптации пациента к фоновому изображению время.

Результаты исследований сохраняются в реляционной базе данных и могут быть вызваны (обычно в виде графических зависимостей контрастной чувствительности зрительного анализатора от пространственной частоты тестовых стимулов) для сравнения с усредненными возрастными нормами. Текущая версия программного обеспечения позволяет одновременное отображение до 4 графиков ЧКЧ.

В настоящий момент времени планируется модификация программного комплекса путем разработки тестовых стимулов, несущих (кроме пространственных характеристик) также смысловую нагрузку, что позволит проводить исследования в режиме распознавания.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При рассеянном склерозе (особенно на ранних стадиях его развития) зрительная система является наиболее чувствительной по сравнению с другими сенсорными системами организма к возникновению различных паталогических процессов. Исследование контрастной чувствительности при РС является одним из чувствительных методов ранней диагностики данного заболевания или выявления бессимптомного его течения. Следовательно, разработанный программный комплекс автоматизированной оценки частотно-контрастной чувствительности зрения может являться значимым элементом биотехнической системы ранней диагностики рассеянного склероза.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Зайнутдинова Г.Х., Бабушкин А.Э. Офтальмологические аспекты рассеянного склероза // Научно-практический журнал «Точка зрения. Восток-Запад». Уфа. 2021, №1, с. 91-96.
- [2] Коваленко А.В., Бисага Г.Н., Коваленко И.Ю. Изменения зрительного анализатора при рассеянном склерозе: клиника и методы диагностики. // Вестник Российской Военно-медицинской академии. 2012. №2 (38), с. 128-135.
- [3] Коскин С.А. Визоконтрастометрия в клинической практике: учебно-методическое пособие. СПб.: ВМедА, 2001. 26 с.
- [4] Шамова Т.М., Гордеев Я.Я. Ранняя диагностика рассеянного склероза // Нейроиммунология. 2007. Т. 5, № 2. С. 129.
- [5] Муравьева С.В., Шелепин Ю.Е. Контрастная чувствительность и внутренний шум у больных с рассеянным склерозом (психофизиологические и электрофизиологические методы исследования) // Нейроиммунология. 2009. Т. 7, № 1. С. 73.
- [6] Егоров Е.А., Ставицкая Т.В., Тутаяева Е.С. Офтальмологические проявления общих заболеваний. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2006. 592 с.
- [7] Araujo C.R. Asymptomatic visual dysfunction in multiple sclerosis / C.R. Araujo, L. Simao, M.A. Lana-Peixoto // Mult. scler. 2009. Vol. 15, suppl. 2. P. S 172, p. 578.
- [8] Chen L. Ocular manifestations of multiple sclerosis / L. Chen., L.K. Gordon // Curr. opin. ophthalmol. 2005. Vol. 16, № 5. P. 315–320.