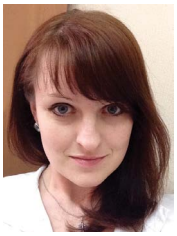
ISSN 1816-5095 (print); ISSN 2500-0845 (online)
https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3S-673-680

поступила 28.04.21
was received 28.04.21

Роль электростимуляции в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний сетчатки и зрительного нерва. Обзор литературы



Л.С. Патеюк[1] А.К. Дракон[1] В.М. Шелудченко[1] Н.Б. Корчажкина[2]

[1] ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация

[2] ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского»
Абрикосовский пер., 2, Москва, 119991, Российская Федерация

РЕЗЮМЕ **Офтальмология. 2021;18(3S):673–680**

В статье представлены современные данные об электростимуляции сетчатки и зрительного нерва. Освещены физические основы биологического действия электроофтальмостимуляции на клеточные элементы и нервные волокна. Изложен ряд офтальмологических нозологий, при которых показано назначение электростимуляции; перечислены местные и общие противопоказания к проведению этого вида физиотерапии. Дана методологическая классификация и проведен краткий исторический экскурс. Приведены данные о клинической эффективности электроофтальмостимуляции при лечении пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями сетчатки и зрительного нерва: возрастной макулярной дегенерацией, пигментной абиотрофией сетчатки, атрофией зрительного нерва и глаукомной оптической нейропатией. Электроофтальмостимуляция является современным методом физического лечения пациентов с заболеваниями сетчатки и зрительного нерва дегенеративно-дистрофического характера. Метод является общепризнанным и широко применяемым в клинической работе не только традиционно на территории Российской Федерации, но и в мировой практике. В экспериментах и на животных моделях доказано неоспоримое преимущество электростимуляции сетчатки и зрительного нерва — этиопатогенетически обусловленное сохранение оставшихся и восстановление утраченных зрительных функций при ведущих к слепоте офтальмологических заболеваниях. Дальнейшее развитие этого направления электролечения включает стандартизацию наиболее эффективных методик при различной офтальмопатологии и оптимизацию параметров проводимых курсов и сеансов электростимуляции сетчатки и зрительного нерва. Последнее предполагает проведение мультицентровых рандомизированных плацебо-контролируемых клинических исследований с достаточным объемом клинического материала и достоверной статистической обработкой полученных результатов.

Ключевые слова: возрастная макулярная дегенерация, дистрофия сетчатки, пигментная абиотрофия сетчатки, пигментный ретинит, атрофия зрительного нерва, глаукома

Для цитирования: Патеюк Л.С., Дракон А.К., Шелудченко В.М., Корчажкина Н.Б. Роль электростимуляции в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний сетчатки и зрительного нерва. Обзор литературы. *Офтальмология.* 2021;18(3S):673–680. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3S-673-680

Прозрачность финансовой деятельности: Никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах

Конфликт интересов отсутствует

CC BY 4.0

The Role of Electrical Stimulation in Management of Retinal and Optic Nerve Degenerative and Dystrophic Disorders. Literature Review

L.S. Pateyuk[1], A.K. Drakon[1], V.M. Sheludchenko[1], N.B. Korchazhkina[2]

[1] Research Institute of Eye Diseases
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation

[2] Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky
Abrikosovsky lane, 2, Moscow, 119991, Russian Federation

ABSTRACT **Ophthalmology in Russia. 2021;18(3S):673–680**

This article presents actual data on the retinal and optic nerve electrical stimulation. The physical basics of the electrical stimulation biological effect on cellular elements and nerve fibers are discussed. Ocular indications for electrical stimulation, as well as local and general contraindications are listed. Strategies of delivery and brief historical overview are given. The article presents current data on the electrical stimulation clinical effectiveness in the management of patients with degenerative and dystrophic diseases of the retina and optic nerve: age-related macular degeneration, retinitis pigmentosa, optic nerve atrophy and glaucoma optic neuropathy. The data on the clinical efficacy of electrophthalmostimulation in the treatment of patients with degenerative-dystrophic diseases of the retina and optic nerve: age-related macular degeneration, retinal pigment abiotrophy, optic nerve atrophy and glaucoma optic neuropathy are presented. Electrophthalmostimulation is a modern method of physical treatment of patients with diseases of the retina and optic nerve of a degenerative-dystrophic nature. The method is generally recognized and widely used in clinical work, not only traditionally on the territory of the Russian Federation, but also in world practice. In experiments and on animal models, the indisputable advantage of electrical stimulation of the retina and optic nerve has been proven — the etiopathogenetically determined preservation of the remaining and restoration of lost visual functions in case of ophthalmic diseases leading to blindness. Further development of this direction of electrotherapy includes standardization of the most effective techniques for various ophthalmopathologies and optimization of the parameters of courses and sessions of electrical stimulation of the retina and optic nerve. The latter presupposes the conduct of multicenter, randomized, placebo-controlled clinical trials with a sufficient volume of clinical material and reliable statistical processing of the results obtained.

Keywords: age-related macular degeneration, retinal dystrophy, retinitis pigmentosa, optic nerve atrophy, optic neuropathy, glaucoma

For citation: Pateyuk L.S., Drakon A.K., Sheludchenko V.M., Korchazhkina N.B. The Role of Electrical Stimulation in Management of Retinal and Optic Nerve Degenerative and Dystrophic Disorders. Literature Review. *Ophthalmology in Russia.* 2021;18(3S):673–680. https://doi.org/10.18008/1816-5095-2021-3S-673-680

Financial Disclosure: No author has a financial or property interest in any material or method mentioned

There is no conflict of interests

ВВЕДЕНИЕ

Электростимуляция в офтальмологии — это воздействие физиотерапевтических методов электролечения, заключающихся в дозированном влиянии слабых импульсных электрических токов определенной структуры и последовательности на отделы зрительной системы. Физиотерапевтическое воздействие токами на нервно-мышечный аппарат глаза называют «электронейромиостимуляция» или «электромионейростимуляция», а воздействие на нейросенсорный аппарат (сетчатку и зрительный нерв) традиционно носит название «электроофтальмостимуляция» (ЭОС) или «офтальмоэлектростимуляция»[1,2].

Электротерапию с целью стимуляции нейросенсорного аппарата зрительного анализатора осуществляют дозированным воздействием импульсами постоянного и/или переменного тока с различными параметрами напряжения, направления, силы, полярности, плотности, ритмичности, формы, вида, частоты и длительности — для оптимального, безопасного и эффективного воздействия на нейроны сенсорного аппарата глаза. Импульсные режимы токов позволяют избежать общебиологических реакций адаптации с повышением порога восприятия и привыканием к терапии — таким образом сохраняется высокая эффективность лечебного воздействия электролечения[2].

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРООФТАЛЬМОСТИМУЛЯЦИИ

Приложение электрических токов вызывает физико-химические (электрохимические) изменения в сетчатке и зрительном нерве. При подаче разности потенциалов к биологическим тканям между электродами создается электродвижущая сила, благодаря которой между электродами в тканях возникает электрический ток, сила которого пропорциональна электропроводности и обратно пропорциональна сопротивлению биологической ткани, при этом на клеточных мембранах создается разность биоэлектрических потенциалов с их поляризацией.

[1] Офтальмология: национальное руководство / под. ред. С.Э. Аветисова, Е.А. Егорова, Л.К. Мошетовой, В.В. Нероева, Х.П. Тахчиди. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2008. 944 с.

[2] Полунин Г.С., Макаров И.А. Физиотерапевтические методы в офтальмологии. М.: МИА, 2015. 208 с.

Нервная ткань обладает относительно высокой электрической проводимостью и низким сопротивлением, поэтому является одной из наиболее чувствительных к воздействию электрическим током. В ответ на физико-химические сдвиги в элементах сетчатки и зрительного нерва возникают физиологические реакции, имеющие в своей основе нейрогуморальные и рефлексогенные механизмы — высвобождение ионов, активизация трансмембранных белков, повышение проницаемости биологических мембран, переход клеток в возбужденное состояние[2].

Считается, что улучшение и сохранение зрительных функций в результате электростимуляции сетчатки и зрительного нерва достигается посредством нескольких возможных механизмов. Во-первых, за счет активации и возбуждения клеток и нервных волокон, находившихся в состоянии парабиоза по причине развившихся в них патологических процессов, происходит функциональная индукция избыточного анаболизма, что, по существу, приводит к торможению процессов катаболизма и апоптоза элементов сетчатки и зрительного нерва. Во-вторых, возобновляется физиологическая рефлекторная взаимосвязь нейросенсорных структур глаза с отделами центральной нервной системы вплоть до уровня зрительной коры, что способствует функциональному восстановлению пострадавших элементов сетчатки и зрительного нерва. В-третьих, в зрительных центрах головного мозга возникают стойкие очаги повышенного возбуждения, что приводит к обратной (нисходящей) афферентации зрительного нерва и сетчатки с трофическим восстановлением поврежденных структур[2,3] [1].

Кроме того, импульсное воздействие электрических токов сопровождается рефлекторным усилением кровообращения и лимфообращения, активацией процессов метаболизма и резорбции (обменно-трофических процессов)[2,3]. Воздействие ЭОС приводит к усилению ретинального кровотока, расширению ретинальных сосудов и усилению светоиндуцированной вазодилатации сосудов сетчатки [2].

Таким образом, воздействие электрическим током в импульсном режиме является фактором, стимулирующим регенераторную способность элементов нейросенсорного аппарата зрительной системы человека. Лечебный эффект ЭОС проявляется в активации репаративных и физиологических процессов регенерации на внутриклеточном, клеточном и тканевом уровне — то есть в восстановлении морфологии и работоспособности тех элементов сетчатки и зрительного нерва, которые вследствие патологических процессов утратили в той или иной степени свои функциональные возможности, но не утратили жизнеспособность. Дегенеративно-дистрофические заболевания сетчатки и зрительного нерва относятся к тяжелым состояниям с неблагоприятным прогнозом по зрению и выраженным нарушением социальной адаптации. Как правило, эти заболевания неизлечимы, некоторые имеют генетическую предрасположенность и характеризуются прогрессирующим течением с необратимой утратой зрительных функций. Принимая во внимание этиологию и патогенез рассматриваемых в настоящем обзоре состояний, следует отметить, что ЭОС относится к этиопатогенетически ориентированным методам терапии, направленным на устранение причин и купирование механизмов развития указанных нозологических форм[1,2,3].

ИСТОРИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Изучение особенностей влияния электрического тока на биологические, в том числе живые ткани, началось еще в конце XVIII века с классических экспериментов Л. Гальвани и А. Вольты[4]. Первые известные эксперименты с воздействием электрического тока на зрительный анализатор начались с 1755 года: Ч. ЛеРуа сообщил о том, что электрические разряды на поверхности слепого из-за катаракты глаза вызывают у пациента визуальные ощущения сильных вспышек света (фосфены) [1]. Способность постоянного электрического тока невысокого напряжения и небольшой силы (гальванического тока) влиять на состояние возбуждения в нервном проводнике зрительной системы человека была описана А. Вольтой в 1792 году: при наложении электродов на кожу век и затылочную область он описал возникновение световых ощущений (фосфенов)[2]. О первых попытках применения электрической стимуляции органа зрения в лечебных целях стало известно в 1873 году: А. Дор сообщил о благотворном влиянии электростимуляции при амблиопии, амаврозе, глаукоме, ретинохориоидите и атрофии зрительного нерва [1, 3].

В XIX веке Э. Пфлюгер установил, что прохождение гальванического тока через изолированный нерв вызывает в последнем явление электротонуса — состояние возбуждения в нервном проводнике, лежащее в основе физиотерапевтического применения электрических токов для стимуляции процессов регенерации[2,4].

Активное изучение биологических эффектов импульсных токов и их вариаций на организм экспериментальных животных и человека в терапевтических целях было начато уже с конца XIX — начала XX века[2]. Экспериментальные работы ученых советской школы в первой половине XX столетия внесли существенный вклад в развитие электростимуляции применительно к двигательному аппарату. Большое количество исследований того времени в принципе было направлено на изучение лечебного воздействия импульсов электрического тока на системы и органы человека[4]. О нейронной реакции в зрительной коре пациентов в ответ на электростимуляцию глаз стало известно в 1929 году благодаря работам О. Фёрстера [1]. Во второй половине прошлого столетия в многочисленных исследованиях отмечено, что электростимуляция оказывает влияние не только

[3] Оковитов В.В. Методы физиотерапии в офтальмологии. М.: ВИНИТИ, 1999. 158 с.

[4] Николаев А.А. Электростимуляция в спорте. Смоленск: СГИФК, 1999. 74 с.

на мышечные волокна и мышцы, но в первую очередь на нервную систему и нервную ткань. Стало известно о нейротрофическом и нейропротекторном эффекте электростимуляции[4] [1].

Электростимуляцию в офтальмологической клинической практике активно применяют уже более 45 лет. Основные и наиболее эффективные методики, параметры и схемы ЭОС, применяемые и в настоящее время, были разработаны в 1985–1989 годах, авторами стали Е.Б. Компанеец, А.Н. Шандурина, Ю.П. Мироненко, В.В. Оковитов, С.Н. Федоров и др.[3] В настоящее время электростимуляция сетчатки и зрительного нерва получила достойное признание и в странах Запада. Проведен ряд экспериментов на животных моделях, подтверждающих нейротрофическое и нейропротекторное действие ЭОС: улучшение электрофизиологических показателей сетчатки и зрительного нерва, повышение активности в кортикальных и подкорковых зрительных центрах, повышение концентрации, экспрессии и активности нейротрофических факторов, снижение концентрации, экспрессии и активности факторов апоптоза, некроза опухолей и медиаторов воспаления. Опубликованы результаты серии клинической эффективности ЭОС [1, 3–5].

КЛИНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Виды. Активным электродом при электростимуляции считают отрицательный (катод). Возбудимость нервного проводника со стороны катода повышена, что и составляет основу физиотерапевтического действия проходящего между электродами тока. Возбудимость со стороны положительного электрода (анода) понижена, в связи с этим последний именуют инертным электродом[2]. В соответствии с локализацией аппликации активного электрода можно выделить следующие виды ЭОС.

Транспальпебральную чрескожную методику осуществляют при наложении активного электрода на сомкнутые веки закрытого глаза[2,3] [1, 6]. Трансорбитальную (периорбитальную) чрескожную методику проводят при аппликации активного электрода на кожу окологлазничной области (исключая кожу век) [1, 6]. Транскорнеальную ЭОС выполняют при непосредственном контакте активного электрода с роговицей [1, 3]. Трансконъюнктивальная методика предполагает наложение активного электрода непосредственно на конъюнктиву глазного яблока[2,3]. Имплантационная (прямая, инвазивная) ЭОС по сути своей является сочетанным методом лечения, предусматривающим проведение хирургического вмешательства для подведения активного электрода непосредственно к стимулируемой структуре глазного яблока — зрительному нерву — с последующим физиотерапевтическим воздействием импульсных токов[2,3]. Наибольшее распространение в настоящее время получили методы чрескожной (транспальпебральной и трансорбитальной) ЭОС по вполне очевидным причинам, заключающимся в их клинической эффективности, безопасности и удобстве практического применения[1,2,3] [1, 3–5].

Аппаратура. Для проведения сеансов ЭОС применяют генераторы импульсных токов: «ЭСУ-2», «ЭСО-2», «Фосфен-2», «Сердолик 10-04», «Чакра-1», «ЭСОФ», «Амплипульс», «Eyetronic» и др.[1,2,3]

Показания. Терапевтические эффекты ЭОС активно используют при заболеваниях, сопровождающихся повреждением нейрорецепторных элементов и элементов рефлекторной дуги: атрофия зрительного нерва (в т.ч. частичная) различной этиологии (посттравматическая, после перенесенных нейроинфекций, нисходящая вследствие новообразований хиазмально-селлярной области, ишемическая оптическая нейропатия, глаукомная оптическая нейропатия при первичной открытоугольной компенсированной глаукоме); дистрофии сетчатки (сухие формы — хориоретинальные дистрофии, макулодистрофии, пигментная абиотрофия и проч.); миопическая болезнь[1,2,3].

Противопоказания. Как для любого метода лечения, для назначения электростимуляции сетчатки и зрительного нерва существует ряд противопоказаний — местного и общего характера.

Местные противопоказания: новообразования орбиты, глазного яблока и придаточного аппарата глаза, а также состояния после их удаления; гнойные процессы в орбите; острые заболевания и периоды обострения хронических заболеваний переднего отдела глаза; нарушения целостности эпителия роговицы (кератит, эрозия, язва); тромбоз центральной вены сетчатки и ее ветвей; эмболия центральной артерии сетчатки и ее ветвей, некомпенсированная глаукома; кровоизлияния в среды и оболочки глазного яблока; отслойка сетчатки и состояния, связанные с угрозой ее возникновения[1,2,3].

Общие противопоказания: мерцательная аритмия, экстрасистолия; высокое артериальное давление, водитель ритма, эпилепсия; склонность к кровотечению; острые воспалительные процессы, лихорадка; общие противопоказания к физиотерапевтическим процедурам[1,2,3].

Побочные эффекты. В доступной литературе имеются данные о следующих побочных эффектах чрескожной ЭОС: контактный дерматит на месте аппликации электродов, головная боль, субъективный дискомфорт и спонтанные фосфены; при трансорбитальной методике отмечали возникновение чувства инородного тела в глазу, точечную кератопатию, поверхностный кератит и раздражение конъюнктивы; инвазивная ЭОС сопряжена с бóльшими рисками побочных эффектов и осложнений, обусловленных особенностями хирургической техники [1].

КЛИНИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРООФТАЛЬМОСТИМУЛЯЦИИ

По данным современной литературы, как отечественных, так и зарубежных авторов, в настоящее время наиболее актуальными в клинической практике являются неинвазивные методы чрескожной (транспальпебральной

и трансорбитальной) ЭОС, применяемые преимущественно при лечении пациентов с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями сетчатки и зрительного нерва с целью сохранения и восстановления зрительных функций[2] [1, 3–5].

Атрофия зрительного нерва — мультифакторное заболевание. Лечение пациентов с атрофией зрительного нерва представляет собой сложную задачу в связи с ограниченными регенераторными способностями нервной ткани[1,2,3].

В результате ЭОС улучшение зрительных функций в виде повышения остроты зрения и расширения границ поля зрения, по данным некоторых исследований, наступало в 56,9 % случаев атрофии зрительного нерва. При этом лучшие результаты были получены у лиц относительно молодого возраста [7].

По результатам других авторов, применение ЭОС оказалось эффективным в среднем в 70 % случаев атрофии зрительного нерва различной этиологии. У пациентов с начальной стадией атрофии зрительного нерва положительный ответ на электротерапию наблюдали в 100 % случаев, улучшение зрительных функций — в 89 % случаев атрофии зрительного нерва на фоне атеросклероза и гипертонической болезни, в 78 % — при нарушениях кровообращения в ветвях центральной артерии сетчатки и сосудах зрительного нерва, в 58 % — после перенесенного ретробульбарного неврита, в 35 % — при постинфекционной и постинтоксикационной нисходящей атрофии зрительного нерва [8].

Эффективность ЭОС у пациентов с нисходящей частичной атрофией зрительного нерва вследствие новообразований хиазмально-селлярной области составила 91,7 %. Острота зрения в среднем повышалась на 0,14–0,2 ед., средние показатели поля зрения — на 17,8–51,4°, средние значения порога электрической чувствительности снизились на 7,5–73,5 мкА, средние значения электрической лабильности повысились на 2,2–4,9 Гц [9, 10].

Применение ЭОС при атрофии зрительного нерва посттравматической этиологии, сосудистого генеза, послевоспалительного характера или в результате новообразования головного мозга приводило к повышению остроты зрения на 0,015–0,02 ед., расширение поля зрения составило 7,1–9,3° в 40,4–49,5 % случаев. Авторы отмечают, что повторные курсы терапии также приводили к значительному повышению зрительных функций. Результаты электроэнцефалографии после курса ЭОС свидетельствовали о предполагаемом повышении нейропластичности в ЦНС под действием импульсного электрического тока, что, по мнению авторов, и лежит в основе восстановления зрения в результате электростимуляции сетчатки и зрительного нерва [11].

Электроэнцефалографические исследования у пациентов с посттравматической частичной атрофией зрительного нерва показали, что применение ЭОС способствует ресинхронизации когерентности потенциалов альфа-диапазона, с чем авторы и связывают улучшение поля зрения в результате курсов проведенного лечения. С точки зрения неврологии потеря зрения в случаях прехиазмального повреждения волокон зрительного нерва связана не только с первичной травматизацией тканей, но и с нарушением синхронизации ритмов в нейронных сетях ЦНС. По мнению авторов, восстановление нейронных связей головного мозга является ключевым компонентом восстановления зрения при частичной атрофии зрительного нерва [12, 13].

Следует отметить, что проведение курсов ЭОС при атрофии зрительного нерва приводит и к значимому субъективному улучшению качества зрения, а также к повышению качества жизни пациентов согласно результатам периметрии. При сравнении исследуемой группы с контрольной повышение качества зрения пациентов по данным периметрии наблюдали соответственно на 41,1 ± 78,9 и на 13,6 ± 26,3 % в дефектном поле зрения, на 26,8 ± 76,7 и на 2,7 ± 20,2 % во всем тестируемом поле зрения; а также на 11,3 ± 13,5 и 4,2 ± 9,4 балла согласно предложенному опроснику [14].

В результате проведенного курса ЭОС при атрофии зрительного нерва удавалось получить улучшение показателей поля зрения на 69 % [15]. Эффект электротерапии с достигнутыми функциональными показателями сохранялся стабильным на протяжении минимум двух месяцев после лечения [15, 16]. Улучшение зрительных функций посредством электростимуляции сетчатки и зрительного нерва было продемонстрировано по итогам двойного слепого рандомизированного клинического исследования, в котором приняли участие пациенты с атрофией зрительного нерва вследствие воспаления и компрессии зрительного нерва (в т.ч. в результате новообразования), врожденного и наследственного характера (в т.ч. наследственной оптической нейропатии Лебера), в виде глаукомной оптической нейропатии и передней ишемической нейропатии неуточненной этиологии, а также смешанного генеза [16].

В последние годы исследователи рассматривают ЭОС в качестве этиопатогенетической терапии при атрофии зрительного нерва на фоне демиелинизирующих заболеваний, таких как рассеянный склероз. Целесообразность применения в этих случаях обусловлена возможностью стимуляции процессов миелинизации нервных волокон, обладающих нейрональной электрической активностью. В экспериментах было показано, что сохранившие электрическую активность аксоны способны к восстановлению путем ремиелинизации, применение ЭОС в подобных случаях напрямую стимулирует регенераторные способности нервных волокон[5] [17].

[5] Effect of transorbital electrical stimulation of optic nerve on remyelination after an acute optic neuritis. Identifier: NCT04042363 [clinicaltrials.gov]. U.S. National Library of Medicine database of privately and publicly funded clinical studies conducted around the world. ClinicalTrials.gov; 2020 [обновлено 7 мая 2020; процитировано 27 апреля 2021]. Доступно: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT04042363

Глаукома является одной из ведущих причин слепоты в мире. Современные методы лечения пациентов с глаукомой направлены в большей степени на снижение внутриглазного давления, что замедляет потерю зрительных функций, но не восстанавливает потерю зрения[1] [1]. В качестве нейропротекторной терапии могут быть применены не только медикаментозные методы лечения [18–21], но и физические — ЭОС.

При первичной открытоугольной глаукоме ЭОС в сочетании с нейропротекторной фармакотерапией позволяла добиться улучшения остроты зрения в 83 % случаев, а расширения периферических полей зрения в среднем на 50° — в 91 %. В 94 % случаев наблюдали улучшение электрофизиологических показателей: электрочувствительность зрительной системы снизилась в среднем на 120,8 мкА, а электролабильность возросла на 5,2 Гц [22].

В одном исследовании сообщалось о гипотензивном эффекте ЭОС при первичной открытоугольной глаукоме. У пациентов на максимальном медикаментозном режиме получили снижение уровня ВГД на фоне проводимой электростимуляции с 19,25 ± 4,71 до 14,41 ± 2,06 мм Hg. У пациентов без гипотензивной терапии ВГД снизилось с 20,38 ± 3,28 до 15,29 ± 2,28 мм Hg [4].

В настоящее время исследователи рассматривают потенциальные возможности стимуляции сетчатки и зрительного нерва при глаукоме, начаты перспективные научные исследования в отношении эффективности ЭОС при глаукомной оптической нейропатии[6,7] [23, 24].

Макулодистрофия (ВМД) — одна из ведущих причин потери центрального зрения в мире, возникающая по причине прогрессирующей потери фоторецепторных клеток в макулярной зоне сетчатки. В отличие от влажной формы ВМД, при сухой форме возможности современной медицины весьма ограничены. В то же время и при влажной форме ВМД с успехом применяемые интравитреальные инъекции ингибиторов фактора роста эндотелия сосудов не способны восстановить утраченные зрительные функции[1,2] [1].

Эффективность электростимуляции сетчатки и зрительного нерва при ВМД, по данным одних авторов, составляет 19,6 % [7]. Другие авторы отмечают положительную динамику в результате ЭОС при сухой форме ВМД в 64 % случаев. После трех-четырех курсов терапии в течение года улучшение остроты зрения составило 0,2 и более ед. По данным электроретинографии установлено увеличение светочувствительности сетчатки, расширение границ поля зрения, увеличение амплитуды и снижение лабильности альфа- и бета-волн[8].

При сухой форме ВМД повышение остроты зрения на 5–10 знаков в результате проведения ЭОС получено в 67 % случаев. Повышение контрастной чувствительности после завершения курса лечения составило +4,4 оптотипа [25].

После электростимуляции сетчатки и зрительного нерва при сухой макулодистрофии повышение остроты зрения зафиксировано в 52 % случаев, при этом в 26 % отмечено снижение зрения. При влажной форме ВМД в 83 % наблюдали повышение остроты зрения, при этом ухудшение зрения не наблюдали ни у одного пациента [26].

Проведение ЭОС при сухой форме ВМД приводило к повышению остроты зрения с 29,5 ± 5,1 до 31,8 ± 5,0 ед. по шкале ETDRS, при влажной макулодистрофии — с 39,8 ± 4,7 до 42,9 ± 4,9 ед. [27].

Пигментная абиотрофия сетчатки (тапеторетинальная дистрофия, пигментный ретинит, пигментная дегенерация сетчатки, палочко-колбочковая дистрофия) — генетически обусловленное заболевание, проявляющееся прогрессирующей двусторонней потерей фоторецепторов сетчатки и атрофией зрительного нерва[2] [1].

В результате применения ЭОС при пигментной абиотрофии сетчатки улучшение зрительных функций наблюдали в 23,5 % случаев, при этом лучшие результаты были достигнуты у пациентов более молодого возраста [7].

В ходе проведения сеансов электростимуляции сетчатки и зрительного нерва при пигментном ретините в течение года в среднем острота зрения по шкале LogMar улучшилась с 0,349 до 0,279 максимум, а по шкале ETDRS — с 31,3 до 35,4 ед. максимум [28]. В результате ЭОС при пигментной абиотрофии сетчатки наблюдали улучшение периферического поля зрения и вариабельное повышение параметров светочувствительности сетчатки по данным компьютерной периметрии [28, 29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электроофтальмостимуляция является современным методом физического лечения пациентов с заболеваниями сетчатки и зрительного нерва дегенеративно-дистрофического характера. Метод является общепризнанным и широко применяемым в клинической работе не только традиционно на территории Российской Федерации, но и в мировой практике. В экспериментах на животных моделях доказано неоспоримое преимущество электростимуляции сетчатки и зрительного нерва — этиопатогенетически обусловленное сохранение оставшихся и восстановление утраченных зрительных функций при ведущих к слепоте офтальмологических

[6] A study using transorbital alternating current stimulation for people with glaucoma. 2017–2020. Identifier: NCT03188042 [clinicaltrials.gov]. U.S. National Library of Medicine database of privately and publicly funded clinical studies conducted around the world. ClinicalTrials.gov; 2020 [обновлено 7 мая 2020; процитировано 27 апреля 2021]. Доступно: https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT03188042

[7] Kovoor J., Panarelli J.F., Schuman J.S. Repetitive transorbital alternating current stimulation. Could this noninvasive therapy be used to activate viable but poorly functional retinal ganglion cells in patients with glaucoma? [glaucomatoday.com]. Glaucoma Today; 2021 [обновлено 24 мая 2018; процитировано 27 апреля 2021]. Доступно: https://glaucomatoday.com/articles/2020-sept-oct/repetitive-transorbital-alternating-current-stimulation

[8] Рожко Ю.И., Кривун А.О. Влияние электротерапии на функциональные показатели сетчатки при сухой возрастной макулярной дегенерации. Федоровские чтения – 2013: сб. тез. XI Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. М., 2013. С. 130.

заболеваниях. Дальнейшее развитие этого направления электролечения включает стандартизацию наиболее эффективных методик при различных видах офтальмопатологии и оптимизацию параметров проводимых курсов и сеансов электростимуляции сетчатки и зрительного нерва. Последнее предполагает проведение мультицентровых рандомизированных плацебо-контролируемых клинических исследований с достаточным объемом клинического материала и достоверной статистической обработкой полученных результатов.

УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Патеюк Л.С. — написание текста, подготовка к публикации;
Дракон А.К. — написание текста, подготовка к публикации;
Шелудченко В.М. — концепция и дизайн, редактирование;
Корчажкина Н.Б. — концепция и дизайн, редактирование.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Sehic A., Guo S., Cho K.-S., Corraya R.M., Chen D.F., Utheim T.P. Electrical stimulation as a means for improving vision. *Am J Pathol*. 2016;186(11):2783–2797. DOI: 10.1016/j.ajpath.2016.07.017
2. Freitag S., Hunold A., Klemm M., Klee S., Link D., Nagel E., Haueisen J. Pulsed electrical stimulation of the human eye enhances retinal vessel reaction to flickering light. *Front Hum Neurosci*. 2019; 13:371. DOI: 10.3389/fnhum.2019.00371
3. Rahmatnejad K., Ahmed O.M., Waisbourd M., Katz L.J. Non-invasive electrical stimulation for vision restoration: dream or reality? *Exp Rev Ophthalmol*. 2016;11(5):325–327. DOI: 10.1080/17469899.2016.1221761
4. Perin C., Viganò B., Piscitelli D., Matteo B.M., Meroni R., Cerri C.G. Non-invasive current stimulation in vision recovery: a review of the literature. *Restor Neurol Neurosci*. 2020;3(38):239–250. DOI: 10.3233/RNN-190948
5. Sabel A., Thut G., Haueisen J., Henrich-Noack P., Herrmann C.S., Hunold A., Kammer T., Matteo B., Sergeeva E.G., Waleszczyk W., Antal A. Vision modulation, plasticity and restoration using non-invasive brain stimulation — An IFCN-sponsored review. *Clin Neurophysiol*. 2020;131(4):887–911. DOI: 10.1016/j.clinph.2020.01.008
6. Шандурина А.Н., Панин А. В. Клинико-физиологический анализ способа периорбитальной чрескожной электростимуляции пораженных зрительных нервов и сетчатки. *Физиология человека*. 1990;1(16):53–59. [Shandurina A.H., Panin A.V. Clinical and physiological analysis of the method of periorbital percutaneous electrostimulation of the damaged optic nerves and retina. Human physiology = *Fiziologija cheloveka.* 1990;1(16):53–59 (In Russ.)].
7. Соловьева В.В., Маценко В.П., Мальковская Е.Е. Метод чрескожной электростимуляции в комплексном лечении сосудистой патологии органа зрения. *Сибирский научный медицинский журнал*. 1995;3:40–42. [Solov'eva V.V., Matsenko V.P., Mal'kovskaya E.E. The method of transcutaneous electrical stimulation in the complex treatment of vascular pathology of the visual organ. Siberian scientific medical journal = *Sibirskiy nauchnyy meditsinskiy zhurnal*. 1995;3:40–42 (In Russ.)].
8. Шигина Н.А., Куман И.Г., Хейло Т.С., Рябцева А.А., Голубцов К.В., Крутов С.В. Применение электрического тока в диагностике и лечении патологии зрительного нерва и сетчатки. *Российский медицинский журнал. Клиническая офтальмология*. 2001;2:66–69. [Shigina N.A, Kuman I.G, Heilo T.S, Ryabtceva A.A, Golubtcov K.V, Krutov S.V. Electric current use in diagnostic and treatment of optic nerve and retinal diseases. Russian Medical Journal. Clinical Ophthalmology = *Rossiyskiy medicinskiy zhurnal. Klinicheskaya oftal'mologiya.* 2001;2:66–69 (In Russ.)].
9. Муслимова З.Р., Сафина З. М. Оценка эффективности метода чрескожной электростимуляции зрительного анализатора у пациентов с частичной атрофией зрительного нерва после удаления опухолей хиазмально-селлярной области. *Точка зрения. Восток–Запад*. 2016;3:90–93. [Muslimova Z.R., Safina Z.M. Evaluation of the efficiency of transcutaneous electrical stimulation of visual analyzer in patients with partial atrophy of optic nerve after tumors surgical removal. Point of view. East-West = *Tochka zrenija. Vostok — Zapad*. 2016;3:90–93 (In Russ.)].
10. Бикбов М.М., Муслимова З.Р., Сафин Ш.М., Даутова З.А., Сафина З.М., Воеводин В.А. Чрескожная электростимуляция у пациентов с частичной атрофией зрительного нерва вследствие опухолей хиазмально-селлярной области. *Офтальмологические ведомости*. 2014;3:77–83. [Bikbov M.M., Muslimova Z.R., Safin Sh.M., Dautova Z.A., Safina Z.M., Voevodin V.A. The use of transcutaneous electric stimulation in patients with partial optic nerve atrophy due to chiasmosellar region tumors. Ophthalmology journal = *Oftal'mologicheskie vedomosti.* 2014;3:77–83 (In Russ.)]..
11. Fedorov A., Jobke S., Bersnev V., Chibisova A., Chibisova Y., Gall C., Sabel B.A. Restoration of vision after optic nerve lesions with noninvasive transorbital alternating current stimulation: a clinical observational study. *Brain Stimul*. 2011;4:189–201. DOI: 10.1016/j.brs.2011.07.007
12. Bola M., Gall C., Moewes C., Fedorov A., Hinrichs H., Sabel B.A. Brain functional connectivity network breakdown and restoration in blindness. *Neurology*. 2014;83:542–551. DOI: 10.1212/WNL.0000000000000672
13. Schmidt S., Mante A., Ronnefarth M., Fleischmann R., Gall C., Brandt S.A. Progressive enhancement of alpha activity and visual function in patients with optic neuropathy: a two-week repeated session alternating current stimulation study. *Brain Stimul*. 2013;6:87–93. DOI: 10.1016/j.brs.2012.03.008
14. Gall C., Sgorzaly S., Schmidt S., Brandt S., Fedorov A., Sabel B.A. Noninvasive transorbital alternating current stimulation improves subjective visual functioning and vision-related quality of life in optic neuropathy. *Brain Stimul*. 2011;4:175–188. DOI: 10.1016/j.brs.2011.07.003
15. Sabel B.A., Fedorov A.B., Naue N., Borrmann A., Herrmann C., Gall C. Non-invasive alternating current stimulation improves vision in optic neuropathy. *Restor Neurol Neurosci*. 2011;29:493–505. DOI: 10.3233/RNN-2011-0624
16. Gall C. Alternating current stimulation for vision restoration after optic nerve damage: a randomized clinical trial. *PLoS One*. 2016;11(6):0156134. DOI: 10.1371/journal.pone.0156134
17. Lubetzki C., Zalc B., Williams A., Stadelmann C., Stankoff B. Remyelination in multiple sclerosis: from basic science to clinical translation. *The Lancet. Neurology*. 2020;19(8):678–688. DOI: 10.1016/S1474-4422(20)30140-X
18. Еричев В.П., Ловпаче Дж.Н., Яременко Т.В. Пептидные биорегуляторы: способ введения и эффективность. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(2):56–62. [Erichev V.P., Lovpache J.N., Yaremenko T.V. Peptide bioregulators: method of administration and efficacy. Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii.* 2020;136(2):56–62 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma202013602156
19. Карпилова М.А., Полуянова А.Д. Антиоксидантные нутрицевтики при глаукоме. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(4):317–323. [Karpilova M.A., Poluyanova A.D. Antioxidant nutraceuticals in glaucoma. Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii.* 2020;136(4):317–323 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma2020136042317
20. Малишевская Т.Н., Юсупов А.Р., Шатских С.В., Антипина Н.А., Клиндюк Т.С., Богданова Д.С. Исследование эффективности и безопасности нейропротекции при первичной открытоугольной глаукоме. *Вестник офтальмологии*. 2019;135(2):83–92. [Malishevskaya T.N., Yusupov A.R., Shatskikh S.V., Antipina N.A., Klindyuk T.S., Bogdanova D.S. Investigation of effectiveness and safety of neuroprotection in primary open-angle glaucoma. Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii* 2019;135(2):83–92 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma201913502183
21. Страхов В.В., Егоров Е.А., Еричев В.П., Ярцев А.В., Петров С.Ю., Дорофеев Д.А. Влияние длительной ретинопротекторной терапии на прогрессирование глаукомы по данным структурно-функциональных исследований. *Вестник офтальмологии*. 2020;136(5):58–66. [Strakhov V.V., Egorov E.A., Erichev V.P., Yartsev A.V., Petrov S.Yu., Dorofeev D.A. Effect of long-term retinoprotective therapy on progression of glaucoma according to structural and functional studies. Annals of Ophthalmology = *Vestnik oftal'mologii.* 2020;136(5):58–66 (In Russ.)]. DOI: 10.17116/oftalma202013605158
22. Сорокина Е.В., Красногорская В.Н., Петрова А.А., Беккер А.Я. Результаты электростимуляции зрительного нерва в сочетании с воздействием пептидного регулятора у больных глаукомой. *Тихоокеанский медицинский журнал*. 2019;2:88–91. [Sorokina E.V., Krasnogorskaya V.N., Petrova A.A., Bekker A.Ya. Results of optic nerve electrostimulation in combination with the use of peptide regulator in patients with glaucoma. Pacific Medical Journal = *Tikhookeanskii meditsinskii zhurnal*. 2019;2:88–91 (In Russ.)]. DOI: 10.17238/PmJ1609-1175.2019.2.88-91
23. Shen J., Wang Y., Yao K. Protection of retinal ganglion cells in glaucoma: Current status and future. *Exp Eye Res*. 2021;205:108506. DOI: 10.1016/j.exer.2021.108506
24. Gil-Carrasco F., Ochoa-Contreras D., Torres M.A., Santiago-Amaya J., Pérez-Tovar F.W., Gonzalez-Salinas R., Nino-de-Rivera L. Transpalpebral electrical stimulation as a novel therapeutic approach to decrease intraocular pressure for open-angle glaucoma: a pilot study. *J Ophthalmol*. 2018;2930519. DOI: 10.1155/2018/2930519
25. Anastassiou G., Schneegans A.L., Selbach M., Kremmer S. Transpalpebral electrotherapy for dry age-related macular degeneration (AMD): an exploratory trial. *Restor Neurol Neurosci*. 2013;31:571–578. DOI: 10.3233/RNN-130322
26. Chaikin L., Kashiwa K., Bennet M., Papastergiou G., Gregory W. Microcurrent stimulation in the treatment of dry and wet macular degeneration. *Clin Ophthalmol* (Auckland, NZ). 2015;9:2345–2353. DOI: 10.2147/OPTH.S92296
27. Shinoda K., Imamura Y., Matsuda S., Seki M., Uchida A., Grossman T., Tsubota K. Transcutaneous electrical retinal stimulation therapy for age-related macular degeneration. *Open Ophthalmol J*. 2008;2:132–136. DOI: 10.2174/1874364100802010132
28. Miura G., Sugawara T., Kawasaki Y., Tatsumi T., Nizawa T., Baba T., Hanaoka H., Yamamoto S. Clinical trial to evaluate safety and efficacy of transdermal electrical stimulation on visual functions of patients with retinitis pigmentosa. *Scientific Reports*. 2019;9:11668. DOI: 10.1038/s41598-019-48158-5
29. Rossi F., Guidobaldi M., Turco S., Amore F. Transorbital electrical stimulation in retinitis pigmentosa. Better results joining visual pattern stimulation? *Brain Stimul*. 2020;13(5):1173–1174. DOI: 10.1016/j.brs.2020.05.014

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
Патеюк Людмила Сергеевна
кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела офтальмореабилитации
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0002-5757-6719

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
Дракон Алина Константиновна
кандидат медицинских наук, доцент, научный сотрудник отдела современных методов лечения в офтальмологии
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0003-2824-7155

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт глазных болезней»
Шелудченко Вячеслав Михайлович
доктор медицинских наук, профессор, заведующий отделом офтальмореабилитации
ул. Россолимо, 11а, б, Москва, 119021, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0001-5958-3018

ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского»
Корчажкина Наталья Борисовна
доктор медицинских наук, профессор, руководитель научно-образовательного центра
Абрикосовский пер., 2, Москва, 119991, Российская Федерация
https://orcid.org/0000-0001-6913-8778

ABOUT THE AUTHORS

Research Institute of Eye Diseases
Pateyuk Liudmila S.
PhD, senior research officer of the Ophthalmorehabilitation Department
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0002-5757-6719

Research Institute of Eye Diseases
Drakon Alina K.
PhD, Associate Professor, research officer of the Modern Treatment Methods in Ophthalmology Department
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0003-2824-7155

Research Institute of Eye Diseases
Sheludchenko Viacheslav M.
MD, Professor, head of the Ophthalmorehabilitation Department
Rossolimo str., 11A, B, Moscow, 119021, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0001-5958-3018

Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky
Korchazhkina Natalia B.
MD, Professor, head of the Scientific and Educational Center
Abrikosovsky lane, 2, Moscow, 119991, Russian Federation
https://orcid.org/0000-0001-6913-8778