



И.В. БАКУТКИН, В.Ф. СПИРИН, В.В. БАКУТКИН

Саратовский НИИ сельской гигиены Роспотребнадзора

УДК 617.725:615.84

Экспериментальные и клинические исследования электростимуляции цилиарного тела глаза

Бакуткин Илья Валерьевич

кандидат медицинских наук, младший научный сотрудник

410027, г. Саратов, ул. Заречная, д. 1, тел. 8-904-241-44-43, e-mail: autofab@bk.ru

В статье представлены данные по экспериментальным и клиническим исследованиям чрескожной электростимуляции мышечной части цилиарного тела. Описываются анатомофизиологические особенности цилиарного тела, биофизические основы электростимуляции, параметры воздействия, результаты клинического применения при миопии и глаукоме.

Ключевые слова: электростимуляция, цилиарное тело, гидродинамика глаза, глаукома, миопия.

L.V. BAKUTKIN, V.F. SPIRIN, V.V. BAKUTKIN

Saratov research institute of rural hygiene of Rospotrebnadzor

Experimental and clinical study electrostimulation of the ciliary body of the eye

The article presents the data of the experimental and clinical studies of the transcutaneous electrostimulation of the muscular part of the ciliary body. Describes anatomic-physiological features of the ciliary body, biophysical basis of electrostimulation, parameters of the impact, the results of clinical application at myopia and glaucoma.

Keywords: electrical stimulation, ciliary body, eye hydrodynamics, glaucoma, myopia.

По данным ВОЗ, в настоящее время в мире насчитывают около 150 млн человек со значительными зрительными расстройствами, из них 43 млн слепых. За последние годы первичная инвалидность по зрению возросла почти в два раза, что имеет весьма важное социальное значение, поскольку более 75% инвалидов — лица трудоспособного возраста, а 54,2% из них — с высоким уровнем образования [1]. Основными причинами слепоты и слабовидения являются глаукома и миопия [2]. Многочисленными исследованиями было установлено, что нарушения функции цилиарного тела глаза имеют большое значение в патогенезе этих заболеваний [3].

В наружных слоях цилиарного тела мышечные волокна имеют строго меридиональное направление и носят название мышцы Брюке. Наиболее сильный мышечный пучок принадлежит мышце Брюкке. Радиальная часть (мышца Брюкке, мышца Иванова) осуществляет регуляцию оттока внутриглазной жидкости из глаза. Соответственно, снижение функциональных показателей дренажной системы зрительного анализатора

и сопровождающееся ухудшение кровотока являются ключевыми элементами в процессе инволюции тканей глаза и нарушений его гидродинамики в виде офтальмогипертензии и глаукомы.

В осуществлении увеосклерального оттока важна роль цилиарной мышцы. Сокращаясь, мышца не только запускает механизм аккомодации, но и действует как насос, способствуя перемещению жидкости по увеосклеральному пути. Этот процесс на сегодняшний день может быть признан единственным возможным способом перемещения жидкости из переднего отрезка глаза в задний [4]. Такое перемещение необходимо для того, чтобы компенсировать недостаток объема, возникающего в заднем отделе глаза при аккомодации, когда хрусталик смещается вперед. В процессе аккомодации происходит не только увеличение кривизны поверхности хрусталика, но и его смещение впереди, что было убедительно показано многими авторами при помощи современных средств визуализации. Поскольку перед хрусталиком в передней камере находится несжимаемая жидкость, то при аккомодации она вытесняется



из передней камеры по путям оттока. Математическое моделирование процессов перемещения жидкостей внутри глаза и произведенные на его основании расчеты показывают, что продукция водянистой влаги в глазу происходит слишком медленно, чтобы играть существенную роль в этом процессе. Жидкость в достаточном количестве поступает в задний отрезок глаза из переднего по увеосклеральному пути [5]. Ее движению в данном направлении способствует сокращение цилиарной мышцы. Таким образом, дренажная система глаза морфологически связана с аккомодационным аппаратом, что обеспечивает их активное функциональное взаимодействие. Из вышеизложенного следует, что активация функции цилиарной мышцы приведет к увеличению оттока внутриглазной жидкости и, как следствие, к снижению офтальмотонуса [6].

Инволюционные состояния аккомодационного аппарата имеют прямое отношение к патогенезу первичной глаукомы, часто по времени совпадают с появлением пресбиопии. В случае перенапряжения аккомодации имеется высокая вероятность возникновения аккомодативной офтальмогипертензии у людей с начальной некорригированной пресбиопией [7].

Электростимуляция — это использование импульсных токов для восстановительного лечения тканей, органов и систем, утративших свою нормальную функцию в результате травмы или болезни. Цилиарная мышца относится к гладким мышцам. Возбудимость гладких мышц меньше, чем скелетных. Возбуждение в гладких мышцах может передаваться с одного волокна на другое (за счет нексусов). Лабильность гладкой мышцы также меньше, чем скелетной, а рефрактерный период более продолжительный. За счет длительного рефрактерного периода гладкая мышца сокращается по типу одиночного удлиненного мышечного сокращения, которое происходит медленнее и продолжительнее.

В настоящее время предложена электрическая модель цилиарной мышцы глаза, отличающаяся расширенным представлением числа токовых компонентов, образованных ионными процессами на мембране гладкомышечного волокна и участвующих в формировании его электрического потенциала при аккомодации глаза, создано аналитическое описание амплитудно-временной характеристики сигнала электрических потенциалов цилиарной мышцы при аккомодации глаза. В результате этих исследований было установлено, что при чрескожной электростимуляции импульсы достигают до нервно-мышечных структур цилиарного тела. Преимущественное распространение электрических импульсов происходит по кровеносным сосудам [8].

Проведенные экспериментальные исследования на гладкомышечных препаратах с различной частотой генерации импульсов (от 10 Гц до 200 Гц), позволили установить, что имеется эффект стимуляции при воздействии с частотой от 65 до 85 Гц, с оптимумом 77 Гц. [9].

Для исследования функционального резерва цилиарной мышцы в условиях зрительной нагрузки традиционно применяются оптические автоматизированные и ручные методы, которые предусматривают участие обследуемого в оценке конечных результатов. Возможности существующих офтальмологических аппаратно-программных средств, таких как лазерные аккомодометры, авторефрактометры и кератографы, ограничиваются морфометрическими измерениями или косвенным определением оптических параметров цилиарной мышцы при аккомодации. Наиболее эффективным способом оценки состояния цилиарной мышцы глаза является определение динамики ее электрических потенциалов, которые с высокой точностью отражают физиологическое состояние аккомодационного аппарата и достоверно позволяют судить о состоянии органов зрения в целом и в условиях процесса аккомодации [10].

Методы электростимуляции (электронейростимуляции) определяются по влиянию на активность ткани: стимулирующий, тормозящий. По месту наложения электродов электростимулятора — на чрескожный и прямой. Гораздо большее распространение получило направление чрескожной электронейростимуляции.

Электростимуляторы генерируют импульсы тока с выраженной зависимостью формы от значений импеданса. Изменение параметров выходных импульсов в процессе стимуляции предупреждает развитие толерантности организма к лечебному фактору, что в свою очередь повышает эффективность проводимой терапии [11].

Материалы и методы

Электростимуляцию глазного яблока в проекции цилиарного тела осуществляют через контакты стимулирующего электрода биполярными электрическими импульсами с частотой 1-10 кГц в виде пачек длительностью 1-15 мс, с частотой повторения пачек 1-30 Гц, с амплитудой тока 0,5-10 мА в течение 3-7 минут ежедневно в течение 10-15 дней. За 2-5 минут до лечебного сеанса проводят трехкратную инстилляцию анестезирующего раствора (0,5%-ного раствора дикаина) в конъюнктивальную полость глаза. Накладывание линзы-электрода осуществляют под веки на конъюнктиву вокруг роговицы в области проекции цилиарного тела. При этом размеры линзы-электрода подбирают в соответствии с размерами глазного яблока для плотного прилегания внутренней поверхности электрода к конъюнктиве и, следовательно, оптимальной проводимости электрического тока. Контроль контакта осуществляется по специальному индикатору прибора. Плавное увеличение амплитуды стимулирующих импульсов, добиваются появления у пациента ощущения «толчков» под электродами. Курс лечения включает в себя проведение 10-15 сеансов электроофтальмостимуляции по указанной методике.

Электронейростимуляция осуществляется чрескожным воздействием двухфазными импульсами. Первая фаза предназначена для управления выходной мощностью стимулятора. Вторая фаза — это затухающие синусоидальные колебания, которые выполняют две функции: непосредственно стимуляции и одновременно служат источником информации для оценки характера самого процесса стимуляции. Изменение электрических параметров на уровне электродов зависит от уровня активации мышечной ткани.

Методика чрескожной электронейростимуляции основана на функции контроля наружного электрического сопротивления кожи. В зоне контакта кожи с электродом производятся динамические измерения электрических параметров, что обеспечивает, в том числе, и контроль эффективности лечебного воздействия. Частота воздействия на мышцы цилиарного тела составляет 65-85 Гц (с оптимум частоты — 77 Гц). Длительность воздействия от 7 до 10 минут. Спонтанное изменение частоты посылки импульсов (в диапазоне 65-85 Гц) является дополнительным фактором, обеспечивающим снижение адаптации к стимуляции. Активизирующий режим воздействия осуществляется серией импульсов с частотой 77 Гц и длительностью пачек 2,5-3,5 мс, что обеспечивает более выраженную активацию мышц цилиарного тела. Сканирующий режим осуществляется серией импульсов, которые изменяют частоту генерации от 65 до 85 Гц с шагом частоты 1 Гц. Режим изменяемой амплитуды импульсов в серии на частоте 77 Гц предназначен для снижения адаптации к стимуляции.

Результаты клинического применения электростимуляции цилиарного тела. Электронейростимуляция может быть использована как монотерапия, так и в комплексе с другими



способами физического воздействия. При лечении миопии в сочетании со спазмом аккомодации установлена достоверная эффективность лечения, что подтверждается увеличением остроты зрения в среднем на 0,14; снижением тонуса аккомодации на 0,3 дптр, повышением запасов относительной аккомодации (ЗОА) на 2,98 дптр. Данные были получены у группы пациентов с миопией слабой и средней степени, в возрасте 7-16 лет. Количество пациентов — 48, им проводили электростимуляцию курсом до 15 сеансов при частоте 77 Гц. Длительность сеанса — до 10 минут. Длительность наблюдения пациентов — до 1,5 года. Сеансы повторяли по индивидуальным показаниям в зависимости от появления астенопических жалоб [12]. Все пациенты обследовались в полном объеме (определение центральной остроты зрения, определение резерва аккомодации, биомикроскопия, офтальмоскопия, ультразвуковая диагностика, авторефрактометрия). Группа пациентов с миопией наблюдается в течение 2-3 лет, что дает возможность проводить сравнение с результатами предыдущих курсов лечения (без электростимуляции). Особенно выраженный эффект был получен у пациентов со спазмом аккомодации (92 %) и миопией слабой степени (86%). Практически у всех пациентов со спазмом аккомодации запас положительной части аккомодации возрос с (-)0,5 Дптр до (-)3,0 Дптр и выше. У пациентов со слабой степенью миопии нормализовалась рефракция в 70%. Запас положительной части аккомодации нормализовался. У пациентов со средней степенью миопии эффект несколько ниже. Снижение миопии в среднем составило 1,0 Дптр. Запас положительной части аккомодации возрос с (-)0,0 Дптр до (-)2,0 Дптр.

Астенопические жалобы к концу лечения исчезли в 90 % случаев. Побочных явлений и осложнений при проведении электростимуляции не наблюдалось. Терапевтический эффект сохранялся в среднем 3-4 месяца при миопии средней степени и до 6 месяцев при миопии слабой степени. Сравнительный анализ эффективности с предшествующей традиционной терапией в этой же группе пациентов показал высокий процент стабилизации миопии — около 90 %. Ранее стабилизация отмечалась только у 50% пациентов [13].

Таким образом, применение электростимуляции для профилактики и лечения миопии слабой и средней степеней имеет высокую эффективность. Длительность курса от 10 до 15 дней. Повторные курсы необходимо подбирать индивидуально, в зависимости от появления астенопических жалоб у пациентов и результатов клинического обследования. Основной диагностической методикой следует считать определение резерва аккомодации и рефрактометрию. Превентивный характер применения ДЭНС (динамическая электростимуляция) обеспечивает стабилизацию миопии. Ее целесообразно применять в группах с повышенным риском прогрессирования близорукости [14].

Были проведены клинические исследования по воздействию чрескожной динамической электростимуляции на гидродинамику глаза у 55 практически здоровых лиц различного возраста частотами 10, 77, 140, 200 Гц, продолжительностью 10 мин. Внутриглазное давление измеряли до сеанса, сразу после сеанса, через 30, 60, 90 и 120 мин. Результаты воздействия чрескожной динамической электростимуляции при частотах 0-200 Гц показали, что максимальное снижение ВГД (внутриглазное давление) зафиксировано в диапазоне 65-85 Гц с оптимумом частоты 77 Гц. На основании полученных данных предложен тест для определения функционального резерва дренажной системы глаза. По результатам пробы было выявлено 3 варианта реакции дренажной системы глаза. Первый — снижение уровня ВГД на 4-5 мм рт. ст., что свидетельствует о значительном функциональном резерве дренажной системы

глаза. (n=38). Второй вариант — снижение ВГД на 2-3 мм рт. ст., что считали слабовыраженным результатом и эффект влияния электростимулирующего воздействия недостоверным (n=12). Третий вариант — после проведения теста ВГД не отличается от исходного, что свидетельствует о том, что функциональный резерв дренажной системы глаза резко снижен. Максимальное значение функционального резерва не превышает 20% от исходного значения. Под наблюдением в течение 2 лет находилось 52 пациента с начальной стадией первичной открытоугольной глаукомы в возрасте от 39 до 68 лет. Исходный уровень ВГД — $25,2 \pm 1,6$ мм рт. ст. В течение всего срока наблюдения им проводили курсами по 15 дней чрескожную электростимуляцию с последующим перерывом 15 дней. [15].

У 44% пациентов с начальной стадией ПОУГ в результате проведения курсов чрескожной динамической электростимуляции удалось нормализовать и удерживать уровень ВГД в пределах 21-23 мм рт. ст., обеспечивая стабилизацию зрительных функций. У 11% пациентов дополнительно потребовалось назначение местной гипотензивной инстилляционной терапии.

Проведенные тонографические исследования установили, что чрескожная динамическая электростимуляция не оказывает воздействия на продукцию внутриглазной жидкости, при этом происходит увеличение коэффициента легкости оттока в интервале от 0,12 до 0,24 мм/мин/мм рт. ст. [16].

С глаукомой развитой стадии было 26 пациентов. Исходный уровень ВГД у них в среднем составил $24,1 \pm 1,8$ мм рт. ст. Проводили 15-дневный курс чрескожной динамической электростимуляции с перерывом 10 дней. Снижение внутриглазного давления отмечено у 65% пациентов, у 30% гипотензивного эффекта не достигнуто. У половины пациентов удалось сократить количество закапываний местных гипотензивных препаратов, у 15% — капли были вообще отменены. При развитой стадии глаукомы динамическая электростимуляция имела эффективность, сопоставимую с местной гипотензивной терапией. В среднем выраженность гипотензивного эффекта динамической электростимуляции в данной группе соответствовала 10% от исходной величины ВГД.

С далеко зашедшей стадией глаукомы наблюдалось 32 пациента, в возрасте от 54 до 72 лет, со средним уровнем ВГД 25 ± 2 мм рт. ст. Всем больным этой группы проводили 15-дневный курс чрескожной динамической электростимуляции с перерывом 5 дней [17]. Гипотензивный эффект динамической электростимуляции при далеко зашедшей стадии глаукомы был менее выражен, чем в других группах пациентов, находившихся под наблюдением. Снижение внутриглазного давления было отмечено у 65% больных и проявлялось после 3-4 сеансов динамической электростимуляции [18].

Заключение

Таким образом, электростимуляция может быть использована с целью определения функционального резерва дренажной системы глаза и выявления ранних нарушений гидродинамики глаза. Она может быть использована как функциональная проба для исследования функционального резерва дренажной системы глаза, а также как профилактическая методика при функциональных нарушениях в активности цилиарной мышцы глаза. Активация оттока внутриглазной жидкости по естественным дренажным путям вследствие чрескожной динамической электростимуляции является физиологичной и длительно используемой методикой. При офтальмогипертензии чрескожная динамическая электростимуляция может быть начальным этапом лечебно-профилактических мероприятий. При глаукоме эффективность чрескожной динамической электро-



нейростимуляции во многом зависит от стадии и функционального состояния дренажной системы глаза.

Электростимуляция нервно-мышечного аппарата, вызывая двигательное возбуждение и сокращение мышц и увеличивая объем мышечной массы, одновременно рефлекторно усиливает весь комплекс обменно-трофических процессов, направленных на энергетическое обеспечение работающих мышц. Таким образом, электростимуляция является патогенетически обоснованным методом диагностики и лечения нарушений гидродинамики глаза, спазма аккомодации, миопии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Либман Е.С. Структура инвалидности и слепоты РФ // Материалы 8 Всероссийского съезда офтальмологов. — 2005. — С. 15-18.
2. Рыбакова Е.Г., Гуревич К.Г., Черепяхина М.А. Качество жизни при миопии // Российская педиатрическая офтальмология. — 2011. — № 1. — С. 53-56.
3. Аветисов С.Э. Близорукость. — М.: Медицина. — 1999. — 280 с.
4. Малюгин Б.Э., Антонян С.А. Механизмы аккомодации: исторические аспекты и современные представления // Новое в офтальмологии. — 2005. — № 4. — С. 45-51.
5. Должич Г.И., Шкребец Г.В. Взаимосвязь структур передней и задней камер глаза у пациентов с глаукомой в сочетании с близорукостью // Вестник офтальмологии. — 2011. — № 1. — С. 22-24.
6. Рудковская О.Д., Пишак В.П. Инволюционные изменения аккомодационного аппарата глаза человека по данным ультразвуковой биометрии и биомикроскопии // Вестник офтальмологии. — 2010. — № 3. — С. 40-43.
7. Корниловский И.М. Офтальмогипертензия и глаукома: механизмы развития (теоретико-экспериментальное исследование) // Рефракционная хирургия и офтальмология. — 2010. — № 3. — С. 16-22.
8. Ленков М.В., Рязанов А.В. Построение математической модели электрической активности цилиарной мышцы в процессе аккомодации // Информационные технологии в XXI веке. VII Межвуз. научно-практ. конф.: материалы конф. / под ред. проф. Т.Н. Ананьевой. — М.: ГОУВПО «МГУС», 2005. — С. 40-42.
9. Бакуткин И.В., Бакуткин В.В., Киричук В.Ф. и др. Влияние динамической электронейростимуляции на функции цилиарного тела // Глаукома: тенденции, теории, лечение: материалы межд. конф. — М., 2009. — С. 71-76.
10. Lenkov M.V., Ryazanov A.V. The program for multivariate registration and processing of bioelectric signals ciliary muscles of an eye at accommodation in conditions of visual loading // Computing teaching programs and innovation. — M: FSSE «State coordination centre of information technologies», 2006. — № 3.
11. Ленков М.В. Особенности разработки аппаратно-программных средств реализации электрографического метода исследования аккомодации // Вестник Рязанской гос. радиотехн. академии. — 2005. — Вып. 16. — С. 41-48.
12. Влияние ДЭНС на уровень внутриглазного давления у пациентов с открытоугольной глаукомой // Рефлексология. — 2006. — № 2 (10). — С. 64-66.
13. Бакуткин В.В., Киричук В.Ф., Бакуткин И.В. и др. Влияние динамической электронейростимуляции на гидродинамику глаза // Новые медицинские технологии в медицине. — 2010. — Т. 5, № 1. — С. 8-10.
14. Рябцева А.А., Савина М.М., Шалдин П.И. и др. ДЭНС-терапия в комплексном лечении миопии у детей и подростков // Рефлексотерапия. — 2007. — № 1. — С. 44-46.
15. Бакуткин В.В., Киричук В.Ф., Бакуткин И.В. и др. Влияние динамической электростимуляции на функции цилиарного тела глаза человека. // Человек и лекарство. XVIII Российский национальный конгресс: сб. материалов. — М., 2010. — С. 40.
16. Бакуткин И.В. Исследование функционального резерва дренажной системы в мониторинге состояния органа зрения // Здравоохранение РФ. — 2011. — № 4. — С. 48.
17. Бакуткин В.В., Киричук В.Ф., Кузнецова Э.В. Влияние динамической электронейростимуляции на аккомодационные способности человека // Проблемы оптической биофотоники: материалы IIIХ Международной конф. — Саратов: Новый ветер, 2009. — С. 21-27.
18. Бакуткин И.В., Бакуткин В.В., Киричук В.Ф. и др. Клинико-экспериментальное исследование влияния динамической электронейростимуляции на гидродинамику глаза // Материалы 14-й международной молодежной научной школы по оптике, лазерной физике и биофотонике. — Саратов: Новый ветер, 2010. — С. 63-67.