

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ГЛАЗОДВИГАТЕЛЬНЫХ МЫШЦ

УДК 617.761
ГРНТИ 76.29.56
ВАК 14.01.07

© Э. В. Бойко¹, И. С. Ковалевская¹, С. А. Коскин¹, А. А. Ковальская¹, Ю. Ф. Камынин², Ю. Е. Шелепин³, А. К. Хараузов³

¹ ФГОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург

² НИЦ эволюции человека Северо-Западного центра биологии, физики и прикладных технологий РАЕН, Санкт-Петербург

³ Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН, Санкт-Петербург

✧ Исследование функциональной активности глазодвигательных мышц широко применяется в клинической практике. В статье рассмотрены новые подходы к диагностике их функционального состояния. Проанализированы результаты разработанных новых методов суперпозиционного электродинамического сканирования и инфракрасной видеоокулографии для оценки функциональной активности глазодвигательных мышц. Исследования выполнены на группе здоровых испытуемых, а также у пациентов с паралитическим косоглазием. В результате исследования выделены степени гипофункции и гиперфункции глазодвигательных мышц, а также определены алгоритмы оценки результатов видеоокулографии. Доказана высокая информативность разработанных неинвазивных методов при применении в клинической практике.

✧ *Ключевые слова:* косоглазие; глазодвигательные мышцы; суперпозиционное электродинамическое сканирование; инфракрасная видеоокулография.

ВВЕДЕНИЕ

Глазодвигательные нарушения встречаются в 3–5 % среди всей структуры глазной патологии [3]. Комплексные офтальмоневрологические исследования [1, 2, 11] позволили установить, что подавляющее большинство неаккомодационного косоглазия имеет паретическую природу и является одним из симптомов врожденных или перенесенных на ранних этапах развития ребенка, а также приобретенных неврологических или посттравматических поражений ствола головного мозга у взрослых. Патологические изменения глазодвигательного аппарата, реализующие клиническую картину паралитического косоглазия, приносят больным различные тягостные ощущения — двоение, ограничение поля зрения, затруднения при работе, косметический дискомфорт, и, как следствие, нарушение социальной адаптации [7, 9, 10]. Реабилитация пациентов с паралитическим (паретическим) косоглазием включает в себя комплекс мероприятий, направленных на первом этапе — на устранение этиопатогенетической причины возникновения патологии и на втором этапе — на использование специализированных офтальмологических методик для устранения диплопии и остаточного дефицита действия глазодвигательных мышц (ГДМ) [8, 11, 13, 15].

В клинической практике для исследования глазодвигательных мышц традиционно используются

субъективные методы оценки их функции (исследование провоцированной диплопии по Хаабу, координатрия Гесса, визуальное исследование амплитуды подвижности глазного яблока, оценка гипофункции горизонтальных мышц по Кистенбауму). Однако все эти методы субъективны, так как требуют ответа обследуемого. До настоящего времени единственным объективным методом исследования функции мышц являлась миография. Электромиография (ЭМГ) — метод исследования функционирования скелетных мышц посредством регистрации их электрической активности и записи результатов в виде электромиограммы, анализ которой проводится по амплитуде, форме, ритму, частоте и латентному периоду колебаний потенциалов. Отведение мышечных биопотенциалов в электромиографах осуществляется либо с помощью поверхностных, либо с помощью игольчатых (вкаливаемых) электродов, позволяющих получить более достоверные результаты [4]. Использование игольчатых электродов является инвазивным, требующим интраоперационного применения, что не позволяет использовать метод ЭМГ у целого ряда пациентов.

В последнее время для практического клинического применения ведется поиск и разработка новых информативных неинвазивных методик исследования функциональной активности глазодвигательных мышц (ГДМ). По данным литературы, перспектив-

ными для клинических исследований являются суперпозиционное электродинамическое сканирование (СЭДС) и инфракрасная видеоокулография (ИК ВОГ) [5, 6, 12, 14]. СЭДС на основе трехмерного распределения плотности осцилляторов позволяет определить функциональную активность непосредственно миоцитов, а инфракрасная видеоокулография — определить степень расхождения точек фиксации зрения. Данные методы неинвазивны, абсолютно безопасны, не требуют обезболивания и фиксации обследуемых, что позволяет выполнять их амбулаторно.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Оценить диагностические возможности новых неинвазивных методов исследования функциональной активности глазодвигательных мышц: суперпозиционного электродинамического сканирования и инфракрасной видеоокулографии.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследуемую группу было включено 167 пациентов, не имевших клинических признаков глазодвигательных нарушений (группа контроля) и 212 пациентов с различными видами паралитического косоглазия, которые на первом этапе были обследованы с помощью метода СЭДС. 192 пациента имели поражение *n. abducens* (частичное — 138, полное — 54), из них 68 — двустороннее, 78 — комбинированное (сочетанное с парезом или параличом вертикаломоторов). 11 пациентов имели полное поражение *n. oculomotorius*, 9 — парез или паралич конвергенции. Жалобы на диплопию предъявляли 20 % пациентов, тортиколиз наблюдался у 14 % всех пациентов. 77,47 % имели врожденный характер патологии, 22,53 % — приобретенный. На момент проведения исследования все пациенты имели наличие патологии более 1 года и достоверную стабилизацию положительной динамики восстановления функции ГДМ. Возраст исследуемых был в диапазоне от 1 до 69 лет. Взрослые составили 52,15 %, дети до 18 лет — 47,85 %. Средний возраст на момент проведения исследования составил $19,1 \pm 1,1$ года.

Для оценки функциональной активности ГДМ нами был разработан и внедрен в практику метод исследования с использованием суперпозиционного электродинамического сканера «СЭДС-4 Обнинск». Разработанный метод основан на построении трехмерного распределения плотности осцилляторов ГДМ и позволяет определить функциональную активность биотканей (миоцитов) в конечном объеме. Составными компонентами СЭДС являлись 2 персональных компьютера, цифровой регистрирующий и калибровочный блоки, 128-канальный датчик,



Рис. 1. Методика проведения суперпозиционного электродинамического сканирования

позволявший в зоне локализации ГДМ регистрировать в широком диапазоне частотные (0–1000Гц), временные и амплитудные калибровочные сигналы, а также, на основании регистрируемых биопотенциалов, — показатели электродинамической активности каждой мышцы. Исследование проводили с помощью датчика прибора, который располагали в области орбит, осуществляя плавное перемещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях (рис. 1).

Полученные значения с помощью программ компьютерного обеспечения группировались в суперпозиционные матрицы, которые после математической обработки отображали в виде двухмерных томограмм (сканограмм) с присвоением цветового значения в зависимости от степени активности (рис. 2). Компьютерная обработка полученной информации позволяла определить значение амплитуды сигнала (в относительных единицах) и его пространственное положение, что позволяло регистрировать усредненное значение функциональной активности каждой из ГДМ в отдельности.

Исследования с помощью ИК ВОГ проводили на базе Института физиологии им. И. П. Павлова РАН. Обследовали две группы испытуемых. Первую группу составляли здоровые испытуемые в возрасте от 16 до 48 лет (12 человек). Во вторую группу вошли 10 пациентов в возрасте от 15 до 52 лет с паралитическим косоглазием. Всем испытуемым было проведено стандартное офтальмологическое обследование, а также традиционные пробы, оценивающие функциональную активность ГДМ. Нами разработан новый метод оценки функции ГДМ с помощью ИК ВОГ. Для исследования применяли EyeTracker iView X-Red, имеющий две инфракрасные камеры, фиксированные на мониторе компьютера, способные отслеживать точные движения глаз, ориентируясь на положение зрачков. Больного усаживали на расстояние 0,6 м от экрана монитора, голову фиксировали (рис. 3).

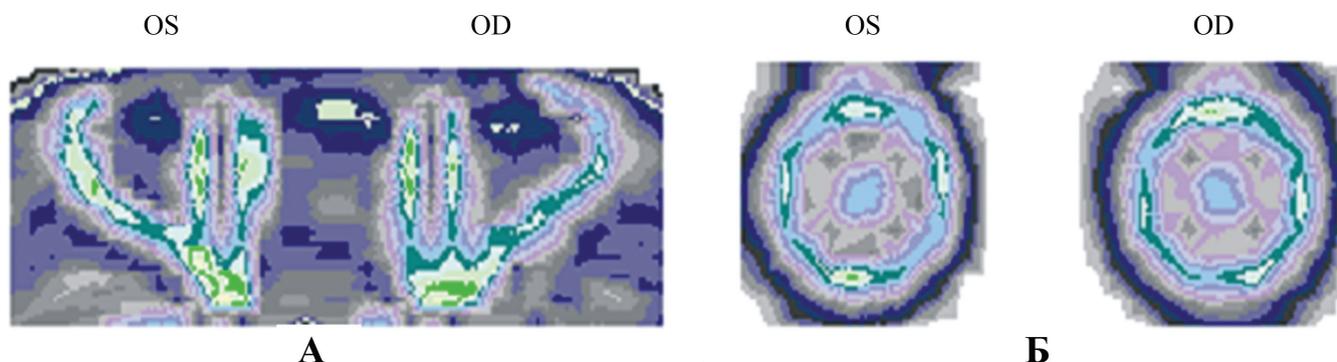


Рис. 2. Электродинамические сканограммы орбит в горизонтальной (А) и фронтальной (Б) плоскостях в норме

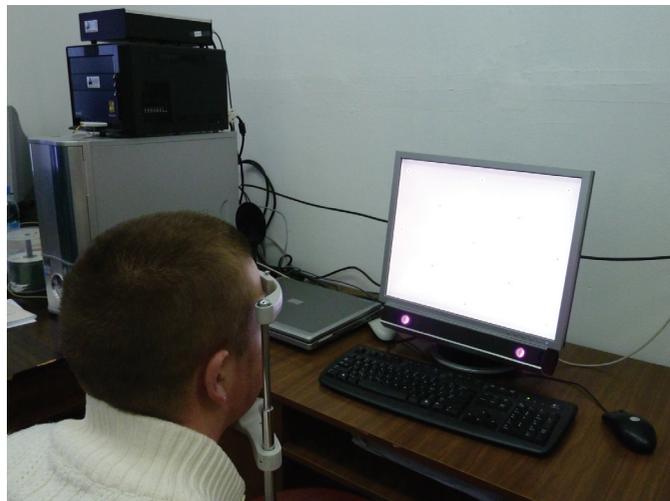


Рис. 3. Методика проведения инфракрасной видеоокулографии

До начала основного исследования пациент проходил калибровочное тестирование, необходимое для индивидуальной настройки аппарата. В ходе калибровки предъявляли 13 неподвижных объектов в виде точек, упорядоченно расположенных на экране. Испытуемые перемещали взгляд и последовательно фиксировали его на каждой точке в течение 3 секунд. После этого проводили основной тест, заключающийся в фокусировке зрения в течение 4 секунд на 9 появившихся объектах. Объекты для фиксации зрения предъявляли в центре экрана, а затем последовательно в 8 основных ме-

ридианах на 1, 3, 5, 6, 7, 9, 11 и 12 часах по периферии экрана (рис. 4, А). С помощью программного обеспечения регистрировали частоту, скорость саккад и микросаккад при переводе фиксации зрения на каждую предъявляемую на мониторе точку. По окончании теста регистрировали координаты положения точек фиксации зрения для каждого глаза отдельно, выраженные в пикселях по вертикали и горизонтали (рис. 4, Б, В). Определяли среднее значение координат для каждой точки фиксации зрения в отдельности для каждого глаза с последующим построением компьютерных видеоокулограмм (рис. 5). Рассчитывали дистанцию расхождения между усредненными координатами точек фиксации зрения для левого и правого глаз, выраженную в пикселях.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенная нами статистическая обработка показателей амплитуды активности всех ГДМ с использованием метода СЭДС в группе контроля показала, что идеальному мышечному равновесию соответствует величина в диапазоне 30–34 отн. ед. В результате проведенного анализа в группе пациентов с паралитическим косоглазием выявлено, что показатели величины активности мышц менее 30 отн. ед. свидетельствуют о гипофункции ГДМ — парезе или параличе, а показатели выше 34 отн. ед. — о гиперфункции. При проведении исследования методом

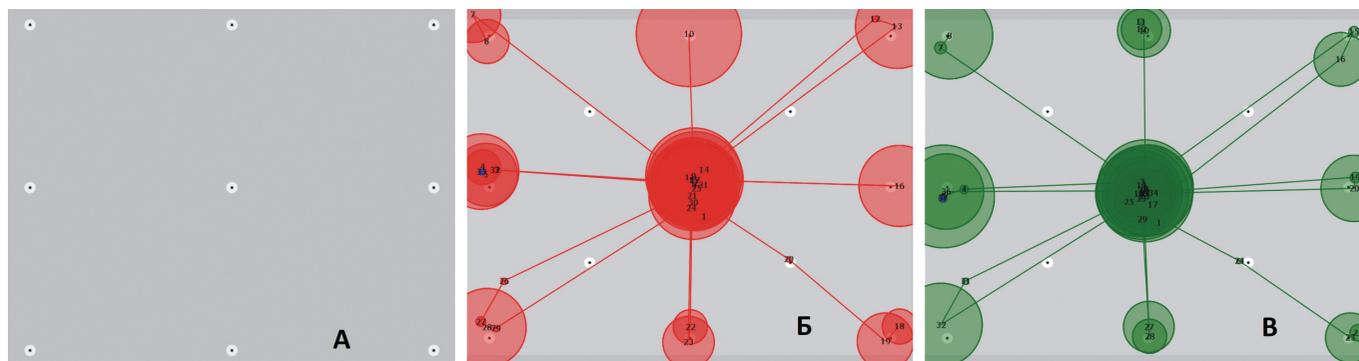


Рис. 4. Расположение точек фиксации зрения на экране (А), зоны локализации фиксации для правого (Б) и левого (В) глаза при проведении инфракрасной видеоокулографии

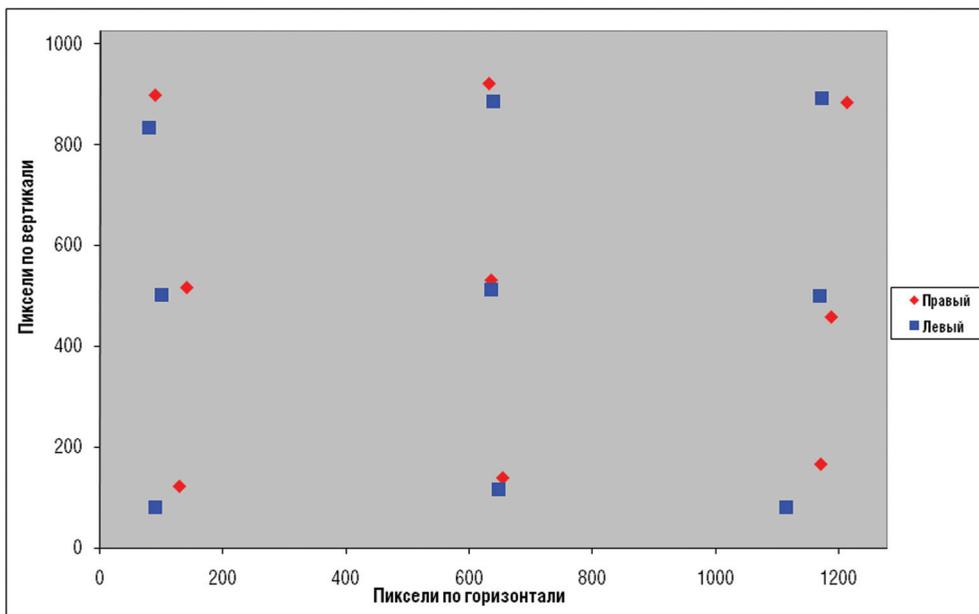


Рис. 5. Усредненные координаты точек фиксации зрения правым и левым глазом при проведении инфракрасной видеоокулографии в норме

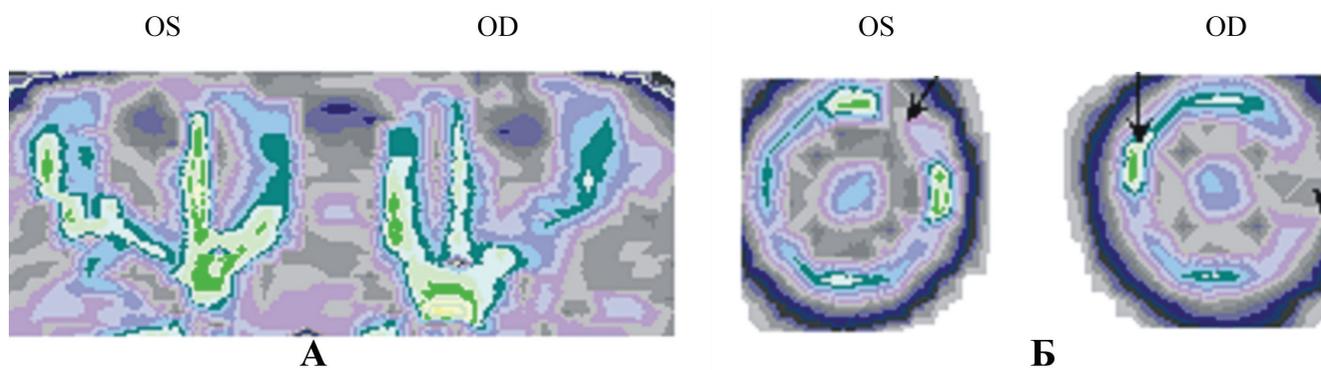


Рис. 6. Электродинамические сканограммы орбит в горизонтальной (А) и фронтальной (Б) плоскостях при парезе наружной прямой мышцы правого глаза

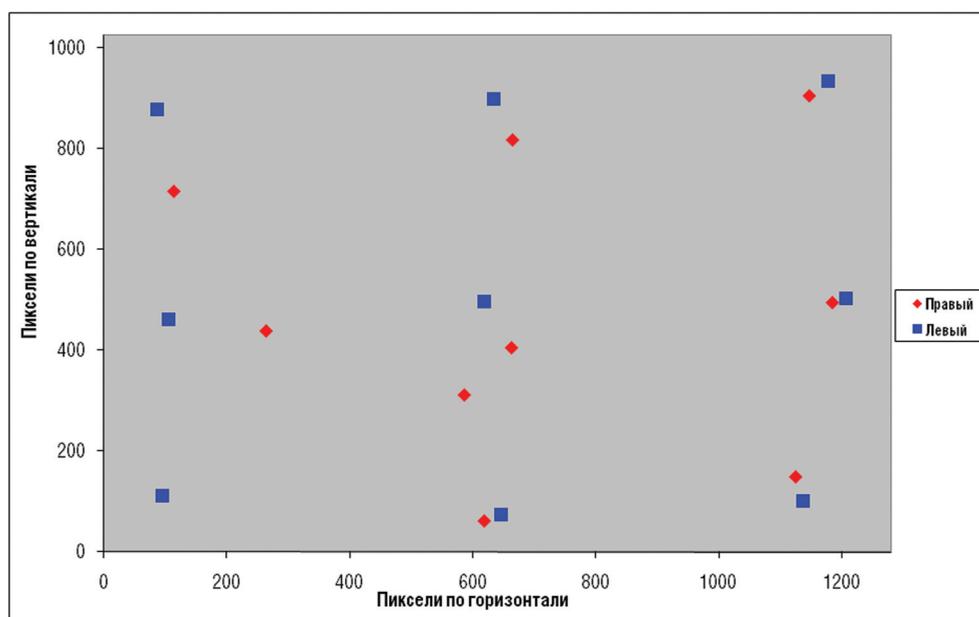


Рис. 7. Усредненные координаты точек фиксации зрения правым и левым глазом при проведении инфракрасной видеоокулографии у пациента с паралитическим косоглазием

Таблица 1

Соотношение степени гипофункции мышц и амплитуды их активности по СЭДС

Степень гипофункции ГДМ	Амплитуда активности ГДМ по данным СЭДС (отн. ед.)
I	26–29
II	25–20
III	19–14
IV	< 14

Таблица 2

Соотношение степени гиперфункции мышц и амплитуды их активности по СЭДС

Степень гиперфункции ГДМ	Амплитуда активности ГДМ по данным СЭДС (отн. ед.)
I	35–37
II	38–42
III	43–48
IV	> 48

СЭДС у пациентов с паралитическим косоглазием определялась выраженная разница в амплитудах биопотенциалов мышц синергистов и антагонистов (рис. 6).

Для оценки степени дисфункции мы сопоставили клинические признаки выраженности силы действия ГДМ с амплитудой их активности по данным СЭДС в норме и при различной патологии. Анализ полученных данных позволил нам выделить 4 степени гипофункции и 4 степени гиперфункции мышц (табл. 1 и 2).

При проведении ИК ВОГ анализировали компьютерные видеоокулограммы, сравнивая результирующие графики с клиническими признаками поражения различных мышц, а также с показателями координатрии, диплограммами по Хаабу и показателями активности по данным СЭДС. Проанализировав результаты, полученные методом ИК ВОГ, выявили, что в норме дистанция между точками фиксации взора для правого и левого глаз составляла от 0 до 130 пикселей для каждого меридиана исследования. При нарушении функции ГДМ среднее значение дистанции между точками фиксации взора на компьютерных видеоокулограммах увеличивалось и составляло свыше 130 пикселей (рис. 7). Увеличение дистанции между точками фиксации взора для правого и левого глаза в определенных меридианах позволяло сделать заключение об ограничении подвижности глаза в данном направлении и, таким образом, подтвердить функциональную неполноценность каждой мышцы в отдельности.

Результаты проведенных исследований выявили достаточную информативность метода СЭДС для диагностики функциональной активности ГДМ. Разработанный метод неинвазивен, абсолютно безопасен, не требует обезболивания и фиксации обследуемого, непродолжителен по времени, что позволяет проводить обследование пациентов любого возраста и неврологического статуса амбулаторно. Нами разработаны критерии оценки парализованных (паретичных) и гиперфункционирующих мышц, основанные на сравнении клинической картины и амплитуды биопотенциалов по данным СЭДС. Разработанный метод

позволяет уточнить степень гипо- и гиперфункции мышц, что является особо важным для проведения дифференциальной диагностики при паралитическом косоглазии, выработки тактики лечения и динамического наблюдения.

Метод ИК ВОГ также оказался высокоинформативным в диагностике функциональных нарушений ГДМ, что подтверждено анализом полученных результатов в сравнении с данными традиционных субъективных методов исследования. Следует отметить, что время всего исследования занимает не более 5 минут, а задача, поставленная перед пациентом во время исследования, легко выполняема, что позволяет применять этот метод у пациентов различных возрастных групп. Регистрируемая в процессе выполнения ИК ВОГ компьютерная видеоокулограмма является, по сути, аналогом диплограммы по Хаабу, но метод ее получения — менее трудоемкий и более доступный для понимания пациента, что делает исследование более объективным и точным. Разработанный метод оценки функциональной активности ГДМ с использованием ИК ВОГ также неинвазивен и позволяет успешно применять его в амбулаторных условиях при обследовании лиц с паралитическим косоглазием и другими нарушениями глазодвигательной системы.

ВЫВОДЫ

1. Разработанные методы диагностики функционального состояния ГДМ на основе СЭДС и ИК ВОГ являются высокоинформативными при обследовании пациентов с паралитическим косоглазием.
2. Основанные на показателях амплитуды биопотенциалов СЭДС критерии степени дисфункции мышц могут быть с успехом применены в клинической практике с диагностической целью и для оценки динамики функционального состояния в ходе проводимого лечения.
3. Оценка функционального состояния ГДМ с применением СЭДС и ИК ВОГ может быть выполнена у пациентов различных возрастных групп в амбулаторных условиях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аветисов Э. С. Содружественное косоглазие. — М.: Медицина, 1977. — 312 с.
2. Громакина Е. В. Патогенетические аспекты косоглазия у детей при перинатальной патологии у детей: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — М., 2002. — 31 с.
3. Кашенко Т. П. Новые возможности диагностики и лечения при глазодвигательной патологии // IX съезд офтальмологов России: тез. докл. — М.: Издат. центр МНТК Микрохирургия глаза, 2010. — С. 448–450.
4. Лагутина Т. С., Калачев И. И., Прошина О. И. К объяснению возможностей мышечной трансплантации при паралитической эзотропии. Электромиография верхней и нижней прямых мышц // Офтальмол. журн. — 1989. — № 4. — С. 230–232.
5. Меткин Н. П., Камынин Ю. Ф., Смирнов А. П. Метод суперпозиционного электромагнитного сканирования головного мозга // IV Междунар. конгр. «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»: Сб. избр. тр. — СПб., 2006. — С. 46–53.
6. Меткин Н. П., Камынин Ю. Ф., Смирнов А. П. Перспективные методы отображения электропотенциальных динамических полей мозга и органов человека в реальном масштабе времени. Суперпозиционное электродинамическое сканирование // Нейрохимические механизмы формирования адаптивных и патологических состояний мозга: Сб. науч. тр. — СПб., 2008. — С. 41–52.
7. Плисов И. Л. Клиническое обоснование создания индуцированного пареза экстраокулярных мышц — синергистов и антагонистов при лечении паралитического косоглазия: автореф. дис. ... канд. мед. наук. — М., 2006. — 24 с.
8. Плисов И. Л., Пузыревский К. Г., Атаманов В. В. Тактика и методы лечения паралитического косоглазия // Бюл. Сиб. отд-ния Рос. АМН. — 2009. — № 4 — С. 111–113.
9. Реабилитация больных с диплопией: Метод. рекомендации / М-во здравоохранения РСФСР; [сост. Ю. З. Розенблюм, Т. П. Кашенко.]. — М.: МЗ РСФСР, 1988. — 15 с.
10. Розенблюм Ю. З., Чернышова С. Г. Диагностика и комплексное лечение диплопии мышечного происхождения: Метод. рекомендации. — М.: Б. и., 2004. — 12 с.
11. Смолянинова И. Л. Паретическое косоглазие у детей: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. — М., 1972. — 21 с.
12. Ячменева Е. И., Рабичев И. Э., Кашенко Т. П. и др. Движения глаз при нормальном бинокулярном зрении и при функциональных нарушениях зрительной системы // Биомеханика глаза. — 2007. — URL: <http://www.organum-visus.com/2009-09-02-19-47-00/2010-01-10-22-37-07/61-2009-12-13-20-57-57.html> (дата обращения: 29.09.2010).
13. Buckley E. G., Plager D. A., Repka M. X., Wilson M. E. Strabismus surgery: basic and advanced strategies. — Oxford: Oxford University Press, 2004. — 192 p.
14. Irsch K., Ramey N. A., Kurz A., Guyton D. L., Ying H. S. Video-based head movement compensation for novel haploscopic eye-tracking apparatus // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. — 2009. — Vol. 50, N3. — P. 1152–1157.
15. Noorden G. K., Campos E. C. Binocular vision and ocular motility. — 6th ed. — St. Louis: C. V. Mosby, 2001. — 631 p.

MODERN METHODS OF OCULOMOTOR MUSCLES' FUNCTIONAL ACTIVITY INVESTIGATION

Boiko E. V., Kovalevskaya I. S., Koskin S. A., Kovalskaya A. A., Kamynin Yu. F., Shelepin Yu. E., Kharauzov A. K.

✧ **Summary.** The investigation of oculomotor muscle function is widely used in clinical practice. In the article, new approaches to the diagnosis of their functional state are described. The results of oculomotor muscle function were studied by new methods - superposition electrodynamic scanning and infrared videooculography. The results and are analyzed in our article. All investigations were performed in healthy individuals and in patients with paralytic strabismus. The results of the study show that the hypofunctional oculomotor muscles and hyperfunctional grades are emphasized, and the development of algorithms of videooculography results are described. The high diagnostic value of the developed non-invasive methods for clinical practice is shown.

✧ **Key words:** strabismus; oculomotor muscles; superposition electrodynamic scanning; infrared videooculography.

Сведения об авторах:

Бойко Эрнест Витальевич — д. м. н., заслуженный врач РФ, профессор, начальник кафедры.
Кафедра офтальмологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова.
194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6.
E-mail: boiko111@list.ru.

Ковалевская Ирина Станиславовна — ассистент кафедры.
Кафедра офтальмологии Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова.
194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6.
E-mail: is_kovalevskaja@mail.ru.

Boiko Ernest Vitalievich — MD, honoured doctor of Russian Federation, doctor of medical science, professor, head of department.
Department of Ophthalmology of the S. M. Kirov Military Medical Academy.
194044, Saint-Petersburg, Academika Lebedeva St., 6.
E-mail: boiko111@list.ru.

Kovalevskaya Irina Stanislavovna — department assistant.
Department of Ophthalmology of the S. M. Kirov Military Medical Academy.
194044, Saint-Petersburg, Academika Lebedeva St., 6.
E-mail: is_kovalevskaja@mail.ru.

Коскин Сергей Алексеевич — д. м. н., доцент, заместитель начальника.

Кафедра офтальмологии Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова.
194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6.
E-mail: eyemillennium@mail.ru.

Ковальская Анастасия Анатольевна — аспирант кафедры.

Кафедра офтальмологии Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова.
194044, Санкт-Петербург, ул. Лебедева, д. 6.
E-mail: 9600090@mail.ru.

Камынин Юрий Федорович — к. м. н., научный руководитель.

Лаборатория исследования мозга НИЦ эволюции человека Северо-Западного научно-координационного центра биологии, физики и прикладных технологий РАЕН.
195027, Санкт Петербург, ул. Синявинская, д. 4.

Шелепин Юрий Евгеньевич — д. м. н., профессор, заведующий лабораторией физиологии зрения.

Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН.
199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6.
E-mail: yshelepin@yandex.ru.

Хараузов Алексей Кольмарович — к. б. н., старший научный

сотрудник лаборатории физиологии зрения.
Институт физиологии им. И. П. Павлова РАН.
199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, д. 6.
E-mail: harauzov@gmail.ru.

Koskin Sergey Alekseevich — MD, associate professor, deputy head. Department of Ophthalmology of the S. M. Kirov Military Medical Academy.

194044, Saint-Petersburg, Academika Lebedeva St., 6.
E-mail: eyemillennium@mail.ru.

Kovalskaya Anastasia Anatolievna — postgraduate.

Department of Ophthalmology of the S. M. Kirov Military Medical Academy.
194044, Saint-Petersburg, Academika Lebedeva St., 6.
E-mail: 9600090@mail.ru.

Kaminin Yuriy Fedorovich — MD, supervisor of studies.

Brain researches laboratory of Northwest evolution of the person scientifically coordination center of biology, physicists and applied technologies.

195027, Saint-Petersburg, Syniavinskaya st. 4.

Shelepin Yuriy Evgenevich — MD, professor, head of vision physiology department.

I. P. Pavlov Institute of physiology Russian Academy of Sciences.
199034, Saint-Petersburg, Makarova emb., 6.
E-mail: yshelepin@yandex.ru.

Kharauzov Aleksey Kolmarovich — PhD, senior researcher

of vision physiology department.
I. P. Pavlov Institute of physiology Russian Academy of Sciences.
199034, Saint-Petersburg, Makarova emb., 6.
E-mail: harauzov@gmail.com.