



## ХИРУРГИЯ

УДК: 612.843.215

DOI: 10.52419/issn2072-2419.2023.3.284

### ВОЗДЕЙСТВИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО УЛЬТРАЗВУКА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ И МОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СЕТЧАТКИ КРОЛИКОВ

**Вафиев А.С.**<sup>1,4</sup> \* – ст. лаборант каф. офтальмологии с курсом ИДПО, мл. науч. сотр. (ORCID 0000-0002-0541-3248), **Концевая С.Ю.**<sup>2</sup> – д-р вет. н., проф. каф. незаразной патологии (ORCID 0000-0003-3912-1590), **Азнабаев Б.М.**<sup>1,4</sup> – д-р. мед. н., проф. каф. офтальмологии с курсом ИДПО, ген. директор (ORCID 0000-0003-1796-8248), **Мусина Л.А.**<sup>1</sup> – д-р биол. н., вед. науч. сотр. науч.-морф. лаб. института фонд. медицины (ORCID 0000-0003-1237-9284), **Прусаков А.В.**<sup>3</sup> – д-р вет. н., зав. каф. внутренних болезней (ORCID 0000-0001-5582-5155), **Дибаяв Т.И.**<sup>1,4</sup> – к. мед. н., доц. каф. офтальмологии с курсом ИДПО, зав. отд. коорд. науч. исследований (ORCID 0000-0002-7448-6037).

<sup>1</sup> – ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»,  
<sup>2</sup> – ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет», <sup>3</sup> – ФГБОУ ВО  
«Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины»,  
<sup>4</sup> – ЗАО «Оптимедсервис».

\*a.s.vafiev@gmail.com

**Ключевые слова:** электроретинограмма, низкочастотный ультразвук, сетчатка, гильотинный механизм.

**Key words:** electroretinogram, low-frequency ultrasound, retina, guillotine mechanism.

Поступила: 15.06.2023

Принята к публикации: 11.09.2023

Опубликована онлайн: 29.09.2023



#### РЕФЕРАТ

В настоящее время тремя группами ученых ведутся разработки по внедрению и использованию низкочастотного ультразвука в хирургию сетчатки и стекловидного тела. Отсутствует достаточно данных и работ по изучению воздействия данного вида энергии на функциональную активность и структурное состояние сетчатки. В связи с этим нами были проведены экспериментальные и диагностические исследования с помощью современных и объективных методов. Цель исследования состояла в проведение анализа показателей электроретинограммы сетчатки кролика и сопоставление с гистологическими данными после удаления стекловидного тела с помощью низкочастотного ультразвука и механического воздействия. Были проведены эксперименты на кроликах породы Шиншилла (n=40). В экспериментальной группе (n=20) удаление стекловидного тела происходило с помощью низкочастотного ультразвука, в контрольной (n=20) с помощью гильотинного механизма. На 1, 7, 14 и сутки проводилась запись параметров а- и b- волны электроретинограммы. Также произ-

водили оценку структурного состояния сетчатки на гистологических срезах. На 1 сутки после оперативного вмешательства в обеих группах исследования происходило снижение всех параметров электроретинограммы, оценка гистологических данных показала наличие отека в большинстве слоев сетчатки. На 7 и 14 сутки параметры а- и b- волны восстанавливались, но не приходили в норму в обеих группах, на гистологических препаратах наблюдалось уменьшение отека во всех слоях сетчатки. На 30 сутки показатели а- и b- волны приходили в норму, что говорит о восстановлении функциональных свойств фоторецепторных клеток, биполярных и клеток Мюллера в обеих группах, на гистологических срезах слои сетчатки визуализировались четко без признаков отека. Анализ показателей электроретинограммы и гистологические данные показали, что использование низкочастотного ультразвука для удаления стекловидного тела может считаться безопасным и перспективным для дальнейшего развития.

#### ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

На сегодняшний день в качестве основного и стандартного метода удаления стекловидного тела при хирургических вмешательствах для лечения заболеваний сетчатки применяется фрагментатор с традиционным пневматическим гильотинным механизмом [1-3]. Стоит упомянуть, что данный метод имеет ряд ограничений, одно из них это снижение производительности при уменьшении калибра самого фрагментатора, что ведет к снижению эффективности всей системы [4, 5].

Актуальным является поиск новых высокоэнергетических технологий, направленных на уменьшение травматизации, повышение безопасности и эффективности хирургического лечения. Тремя группами ученых было предложено использование низкочастотного ультразвука для превращения стекловидного тела в легкоудаляемую эмульсию [6-9]. Благодаря увеличению скорости удаления стекловидного тела, достигаемое при помощи увеличения частоты резов, происходит уменьшение времени хирургического вмешательства, также преимуществом является снижение тракционного воздействия и риска ятрогенных осложнений [10]. В настоящее время нет достаточных данных о влиянии низкочастотного ультразвука на сетчатую оболочку. В связи с этим актуальным является проведение экспериментов для исследования характера воздействия данного вида энергии на функциональное и структурное состояние сетчатки.

На сегодняшний день метод электро-

ретинографии является одним из объективных методов, который позволяет оценить функциональное состояние фоторецепторов, биполярных клеток, клеток Мюллера [11-16].

Цель исследования – провести анализ показателей электроретинограммы и гистологических данных сетчатки кролика после удаления стекловидного тела с помощью низкочастотного ультразвука и механического воздействия.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHOD

Были проведены эксперименты на 40 кроликах породы Шиншилла ( $5 \pm 0,5$  месяцев) весом  $3 \pm 1$  кг. Все опыты были выполнены в соответствии «Европейской конвенцией о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» 1986 г., Приказом Министерства здравоохранения России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении Правил надлежащей лабораторной практики». Диагностические исследования были выполнены на 1, 7, 14 и 30 сутки. Была произведена блочная рандомизация животных (с применением генератора случайных чисел). В экспериментальной группе ( $n=20$ ) производили оперативное вмешательство для удаления стекловидного тела при помощи фрагментатора калибра 25 G с использованием низкочастотного ультразвука (УЗ). Рабочая частота инструмента составляла 32 кГц, максимальная амплитуда 20 мкм. В контрольной группе ( $n=20$ ) применялся фрагментатор калибра 25 G с использованием гильотинного механизма (ГМ), ча-

стота резов составила 6000 рез/мин. Время экспозиции составило 300 сек. Все манипуляции были выполнены на универсальной офтальмологической микрохирургической системе «Оптимед Профи» (ЗАО «Оптимедсервис», Россия). Всех животных фиксировали в стерильной хирургической простыне и располагали на операционном столе. Для обеспечения стабильной седации животных перед операцией вводили внутримышечно раствор «Ксилазин 2%» (1 мг на 1 кг веса), для общей анестезии вводили «Золетил 100» (7,5 мг на 1 кг веса), также расширяли зрачок с помощью закапывания каплями в конъюнктивальный мешок «Мидримакс» (по 1 капле в каждый глаз). Для проведения электроретинографии использовали комплекс для электрофизиологических исследований Tomey EP-1000 (Tomey Corporation, Япония). Накладывались 3 электрода: линзу-присоску на роговицу глаза, референтный и заземляющий электроды располагали подкожно в области лобной кости (рис. 1). Производили запись электроретинограммы после 20 минутной темновой адаптации для получения максимального ответа (рекомендации ISCEV), импеданс не превышал 4 кОм, записывали параметры амплитуды и латентности а- и b- волн (рис. 2).

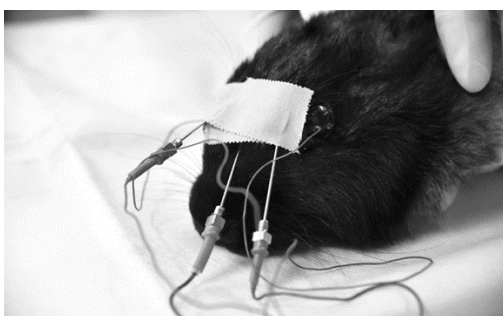


Рис. 1. Наложение электродов при регистрации и записи электроретинограммы кролика.

После оперативного вмешательства на каждые сроки эксперимента выводили по 10 кроликов путем передозировки барбитуратов и готовили гистологические препараты по стандартной методике. В течение 3-5 суток фиксировали в 10% растворе забуференного формалина по Лилли, далее обезвоживали в спиртах восходящей концентрации. Следующим этапом изготавливали срезы на микротоме LEICA RM 2145 RTS (Leica, Германия). Полученные препараты окрашивали гематоксилином и эозином, по методу Ван-Гизона. Дальнейшее микрофотографирование производилось на световом микроскопе AXIO IMAGER-Z1 (Carl Zeiss, Германия) на увеличениях от  $\times 100$  до  $\times 800$ .

Сравнение полученных количественных параметров амплитуды (мкВ) и латентности (мс) а- и b- волн проводилось при помощи программы Statistica v.11 (StatSoft, США), данные представлены в виде  $M \pm Sd$ , где M – выборочное среднее, Sd – стандартное отклонение. Также применялся непараметрический критерий Манна-Уитни, статистически значимыми различия считались при  $p < 0,05$ .

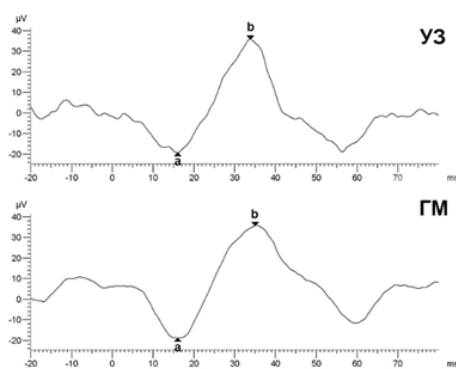


Рис. 2. Электроретинограмма кроликов экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группы до оперативного вмешательства.

### Результаты / Results

Спустя сутки после оперативного вмешательства все параметры а- и b- волны электроретинограммы кроликов понижалась как в экспериментальной, так и в контрольной группе (рис. 3). Это свидетельствует о понижении функциональной активности наружных слоев сетчатки в центре. Межгрупповых статистических значимых различий между амплитудой ( $p=0,7913$ ), латентностью ( $p=0,0757$ ) а-волны, амплитудой ( $p=0,5454$ ) и латентностью ( $p=0,4104$ ) b- волны найдено не было.

Спустя 1 сутки после оперативного вмешательства в экспериментальной и контрольной группах на гистологических препаратах были выявлены изменения в виде отека, происходило разрежение структур в большинстве слоев сетчатки, цитоплазма четко не просматривалась (рис. 4, 5).

На 7 сутки после оперативного вмешательства амплитуда и латентность а- и b- волн в экспериментальной и контрольной группах незначительно возрастала, это говорит о тенденции к восстановлению функциональной активности фоторецепторов, биполярных клеток и клеток Мюллера (рис. 6). Межгрупповых статистических значимых различий между амплитудой ( $p=0,3643$ ), латентностью ( $p=0,0757$ ) а- волны, амплитудой

( $p=0,5205$ ) и латентностью ( $p=0,3447$ ) b- волны также найдено не было.

Спустя 7 суток после оперативного вмешательства описанные изменения сетчатки всех кроликов были выражены в меньшей степени. Признаки отека в наружном ядерном и внутреннем ядерном слоях уменьшались как в экспериментальной, так и в контрольной группах. (рис. 7, 8).

Спустя 14 суток после оперативного вмешательства амплитуда и пиковая латентность а- и b- волн в обеих группах продолжала восстанавливаться и стремилась к дооперационным значениям (рис. 9). Межгрупповых статистических значимых различий между амплитудой ( $p=0,3846$ ), латентностью ( $p=0,7337$ ) а-волны, амплитудой ( $p=0,9698$ ) и латентностью ( $p=0,6775$ ) b- волны найдено не было.

Спустя 14 суток на гистологических препаратах в экспериментальной и контрольной группах проявления морфологических изменений практически исчезали, оставались признаки отека в виде вакуолей около отдельных нейронов. Межклеточные связи между сегментами фоторецепторов восстанавливались (рис. 10, 11).

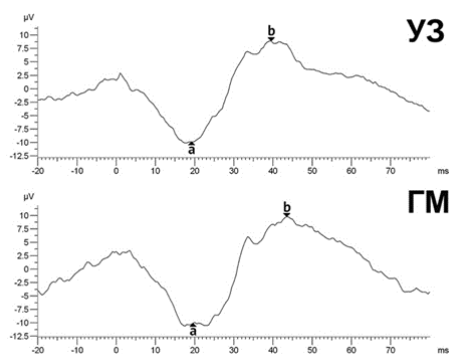


Рис. 3. Электроретинограмма кроликов экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группы на 1 сутки после оперативного вмешательства.

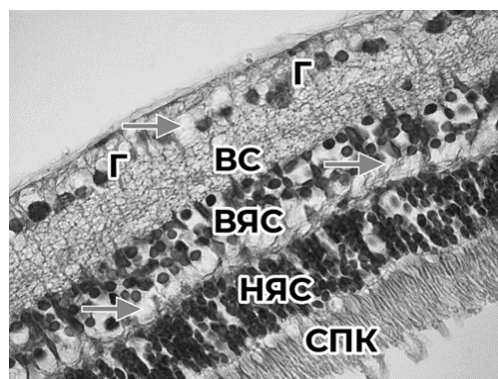


Рис. 4. Структура сетчатки кролика в экспериментальной группе на 1 сутки. Разрежение наружного ядерного слоя (НЯС) и внутреннего ядерного слоя (ВЯС); отек (↑). ВСС – внутренний сетчатый слой; СПК – слой палочек и колбочек; Г – ганглиозные нейроны. Увел.  $\times 400$ .

Спустя 30 суток после оперативного вмешательства амплитуда и латентность а- и б- волн электроретинограммы полностью восстанавливалась к дооперационным значениям, это свидетельствует о полном функциональном восстановлении фоторецепторных клеток, клеток Мюллера и биполярных клеток (рис. 12). Межгрупповых статистических значимых различий между амплитудой ( $p=0,3075$ ), латентностью ( $p=0,4727$ ) а- волны, амплитудой ( $p=0,9397$ ) и латентностью ( $p=0,7054$ ) б- волны найдено не было.

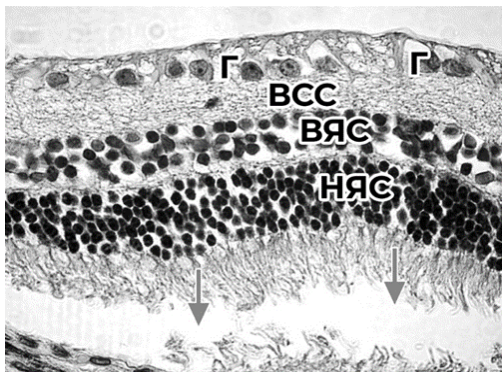


Рис. 5. Структура сетчатки кролика на 1 сутки в контрольной группе. Отек в слоях сетчатки (↑). НЯС – наружный ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; Г – ганглиозные нейроны. Увел.  $\times 400$ .

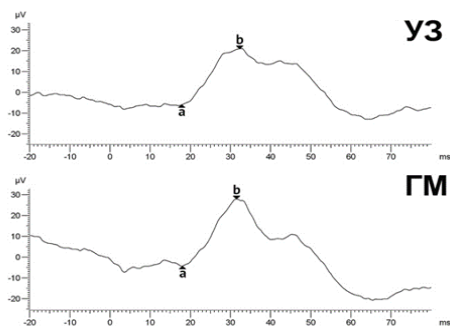


Рис. 6. Электроретинограмма кроликов экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группы на 7 сутки после оперативного вмешательства.

Спустя 30 суток после оперативного вмешательства на гистологических препаратах в обеих группах сетчатки кроликов выглядела интактной, признаков отека не обнаруживалось. Структура слоев выглядела ровной, межклеточные пространства были одинаковой ширины, все нейроны были нормальной формы (рис 13, 14).

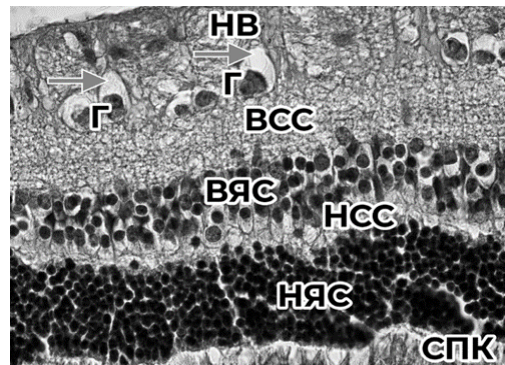


Рис. 7. Структура сетчатки кролика в экспериментальной группе на 7 сутки. Отек (↑); СПК – слой палочек и колбочек; НЯС – наружный ядерный слой; НСС – наружный сетчатый слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; Г – ганглиозные нейроны; Нв – нервные волокна. Увел.  $\times 400$ .

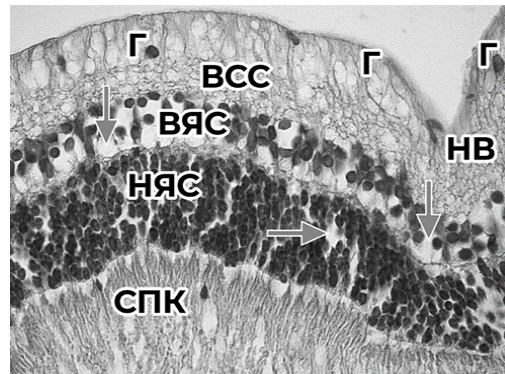


Рис. 8. Структура сетчатки кролика на 7 сутки в контрольной группе. Отек (↑). СПК – слой палочек и колбочек; НЯС – наружный ядерный слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; Г – ганглиозные нейроны; Нв – слой нервных волокон. Увел.  $\times 400$ .

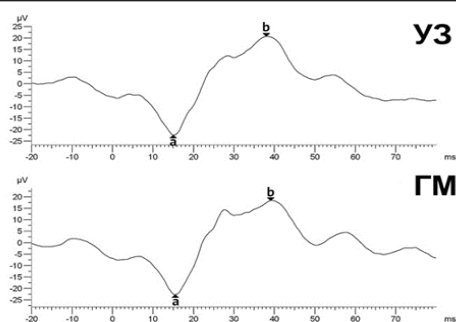


Рис. 9. Электроретинограмма кроликов экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группы на 14 сутки после оперативного вмешательства

По результатам проведенного комплексного анализа параметров электроретинограммы и гистологических данных, мы получили схожие изменения на все сроки исследования в обеих группах сравнения. На 1 сутки происходило угнетение параметров амплитуды ( $20,7 \pm 6,3$  мкВ в экспериментальной и  $21,6 \pm 5,8$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $16,2 \pm 1,9$  мс в экспериментальной и  $15,4 \pm 2,2$  мс в контрольной группах соответственно) а- волны и амплитуды ( $69,4 \pm 7,2$  мкВ в экспериментальной и  $71,2 \pm 6,3$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $32,5 \pm 6,4$  мс в экспериментальной и  $34,2 \pm 6,2$  мс в контрольной группах соответственно) b- волны электроретинограммы, на гистологических препаратах наблюдали признаки отека в большинстве слоев сетчатки. На 7 сутки показатели амплитуды ( $27,3 \pm 6,2$  мкВ в экспериментальной и  $27,3 \pm 5,7$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $11,9 \pm 1,2$  мс в экспериментальной и  $13,2 \pm 1,2$  мс в контрольной группах соответственно) а- волны и амплитуды ( $84,8 \pm 6,8$  мкВ в экспериментальной и  $85,7 \pm 6,6$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $33,2 \pm 6$  мс в экспериментальной и  $34,1 \pm 5,7$  мс в контрольной группах соответственно) b- волны электроретинограммы начинали восстанавливаться. На 14 сутки параметры амплитуды ( $30,0 \pm 6,5$  мкВ;  $33,2 \pm 5,5$  мкВ в

контрольной группах соответственно), латентности ( $14,9 \pm 1,1$  мс в экспериментальной и  $14,8 \pm 1,2$  мс в контрольной группах соответственно) а- волны и амплитуды ( $88,8 \pm 6,4$  мкВ в экспериментальной и  $89,9 \pm 6,2$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $34,9 \pm 6,1$  мс в экспериментальной и  $34,9 \pm 6,4$  мс в контрольной группах соот-

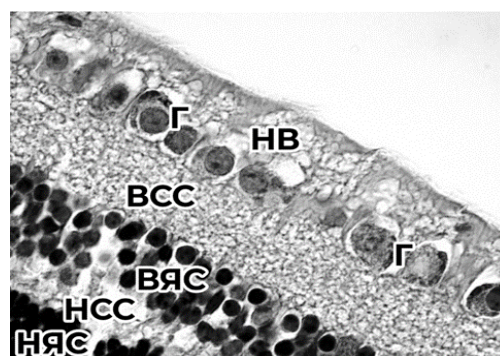


Рис. 10. Структура сетчатки кролика в экспериментальной группе на 14 сутки. НЯС – наружный ядерный слой; НЯС – наружный сетчатый слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; Г – ганглиозные нейроны; НВ – слой нервных волокон. Окраска по Ван-Гизону. Увел.  $\times 800$ .

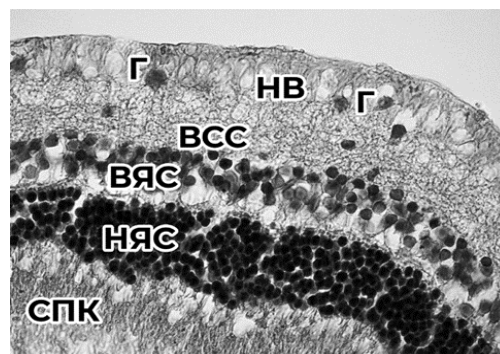


Рис. 11. Структура сетчатки кролика в контрольной группе на 14 сутки. СПК – слой палочек и колбочек; НЯС – наружный ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; Г – ганглиозные нейроны; НВ – слой нервных волокон. Увел.  $\times 630$ .

ветственно) b- волны после оперативного вмешательства продолжали восстанавливаться, структурно-морфологические изменения также были менее выражены. К 30 суткам показатели амплитуды ( $33,7 \pm 6,3$  мкВ в экспериментальной и  $34,4 \pm 6,2$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $14,6 \pm 1,5$  мс в экспериментальной и  $14,9 \pm 1,2$  мс в контрольной группах соответственно) a- волны и амплитуды ( $89,9 \pm 5,6$  мкВ в экспериментальной и  $90,9 \pm 6,1$  мкВ в контрольной группах соответственно), латентности ( $44,8 \pm 4,0$  мс в экспериментальной и  $44,8 \pm 4,1$  мс в контрольной группах соответственно) b- волны достигали дооперационных значений, что говорит о восстановлении функциональной активности сетчатки, также морфологическая картина приходила в норму, сетчатка выглядела интактной.

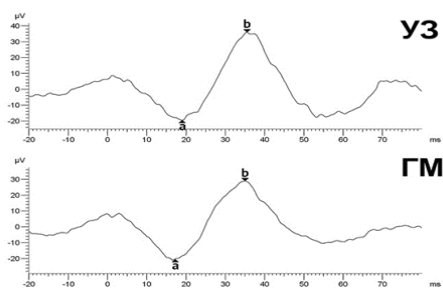


Рис. 12. Электроретинограмма кроликов экспериментальной (УЗ) и контрольной (ГМ) группы на 30 сутки после оперативного вмешательства.

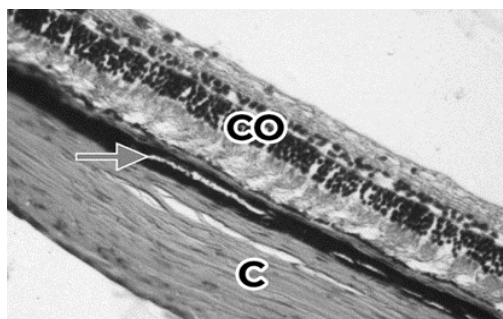


Рис. 13. Структура сетчатки кролика в экспериментальной группе на 30 сутки. CO – сетчатая оболочка глаза; хориоидея (↑); C – склера. Увел.  $\times 100$ .

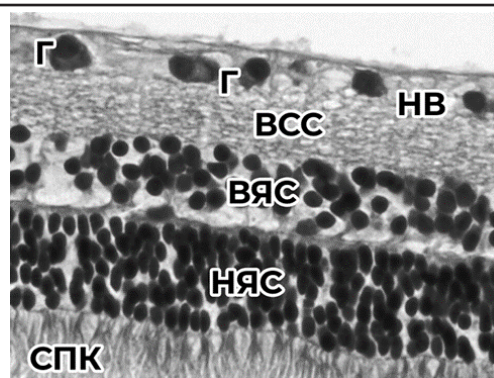


Рис. 14. Структура сетчатки кролика в контрольной группе на 30 сутки. СПК – слой палочек и колбочек; НЯС – наружный ядерный слой; ВЯС – внутренний ядерный слой; ВСС – внутренний сетчатый слой; Г – ганглиозные нейроны; НВ – слой нервных волокон. Увел.  $\times 100$ .

#### ВЫВОДЫ / CONCLUSION

Исходя из проведенного анализа амплитуды и латентности a- и b- волн электроретинограммы и результатов гистологических исследований можно заключить, что использование фрагментатора на основе низкочастотного ультразвука является безопасным и перспективным для дальнейшего применения в хирургии сетчатки и стекловидного тела.

#### THE EFFECT OF LOW-FREQUENCY ULTRASOUND ON THE FUNCTIONAL AND MORPHOLOGICAL STATE OF THE RETINA OF RABBITS

Vafiev A.S.<sup>1,4</sup> – senior laboratory assistant, junior research assistant; Kontsevaya S.Y.<sup>2</sup> – doctor of veterinary sciences, Professor of the department; Aznabaev B.M.<sup>1,4</sup> – doctor of medical sciences, Professor of the department, General manager; Prusakov A.V.<sup>3</sup> – doctor of veterinary sciences, Head of the Department; Dibaev T.I.<sup>1,4</sup> – PhD of medical science, Associate Professor, Head of the Research Coordination Department

<sup>1</sup> – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "BSMU"; <sup>2</sup> – Federal State Budgetary Educational In-

stitution of Higher Education "BelSAU";  
<sup>3</sup> – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "SPbSUVN";  
<sup>4</sup> – ZAO "Optimedservice".

\*a.s.vafiev@gmail.com

#### ABSTRACT

Currently, three groups of scientists are developing the introduction and use of low-frequency ultrasound in retinal and vitreous surgery. There is not enough data and work to study the effects of this type of energy on the functional activity and structural state of the retina. In this regard, we conducted experimental and diagnostic studies using modern and objective methods. The main purpose of this article is analyzing the parameters of the electroretinogram of the rabbit retina and compare it with histological data after removal of the vitreous body using low-frequency ultrasound and mechanical action. Experiments were conducted on Chinchilla rabbits (n=40). In the experimental group (n=20), vitreous removal was performed using low-frequency ultrasound, in the control group (n=20) using a guillotine mechanism. On the 1st, 7th, 14th and 14th days, the parameters of the a- and b-waves of the electroretinogram were recorded. The structural state of the retina was also evaluated on histological sections. On the 1st day after surgery in both study groups there was a decrease in all parameters of the electroretinogram, the evaluation of histological data showed the presence of edema in most layers of the retina. On days 7 and 14, the parameters of the a- and b-waves were restored, but did not return to normal in both groups, a decrease in edema in all layers of the retina was observed on histological preparations. On day 30, the a- and b-wave indicators returned to normal, which indicates the restoration of the functional properties of photoreceptor cells, bipolar and Muller cells in both groups, the retinal layers were clearly visualized on histological sections without signs of edema. Analysis of electroretinogram parameters and histological data showed that the use of low-frequency ultrasound for vitreous removal can be considered safe and promising for further development.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bringmann, A. Morphology of partial-thickness macular defects: presumed roles of Müller cells and tissue layer interfaces of low mechanical stability / A. Bringmann, J. D. Unterlauff, R. Wiedemann, M. Rehak, P. Wiedemann // *Int. J. Retina Vitreous*. – 2020. – № 6. – P. 28. – DOI: 10.1186/s40942-020-00232-1.
2. Saxena, S. Vitreoretinal surgery / S. Saxena, C.H. Meyer, M. Ohji, L. Akduman // London: Jaypee Brothers Medical Publishers. 2012. – 442 p.
3. Pavlidis, M. Two-Dimensional Cutting (TDC) Vitrectome: In vitro flow assessment and prospective clinical study evaluating core vitrectomy efficiency versus standard vitrectome / M. Pavlidis // *Hindawi Journal of Ophthalmology*. – 2016. – P. 1–6. – DOI: 10.1155/2016/3849316.
4. Mohamed, S. Review of Small Gauge Vitrectomy: Progress and Innovations / S. Mohamed, C. Claes, C.W. Tsang // *Hindawi Journal of Ophthalmology*. – 2017. – P. 1–9. – DOI: 10.1155/2017/6285869.
5. Pastor-Idoate, S. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary report / S. Pastor-Idoate, R. Bonshek, L. Irion, I. Zambrano, P. Carlin, A. Mironov et al. // *PLOS one*. – 2017. – № 4. – P. 1–16. DOI: 10.1371/journal.pone.0173883.
6. Aznabaev, B.M. Twenty-five gauge ultrasonic vitrectomy: experimental and clinical performance analysis / B.M. Aznabaev, T.I. Dibaev, T.R. Mukhamadeev, A.S. Vafiev, I. Kh. Shavaliev // *Retina*. – 2020. – № 7. – P. 1443–1450. – DOI: 10.1097/IAE.0000000000002863.
7. Stanga, P.E. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system / P.E. Stanga, S. Pastor-Idoate, I. Zambrano, P. Carlin, D. McLeod // *Plos One*. – 2017. – № 12. – P. 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0178462.
8. Wuchinich, D. Ultrasonic vitrectomy instrument / D. Wuchinich // *Physics Procedia*. 2015. – № 63. – P. 217–222. – DOI: 10.1016/j.phpro.2015.03.035.
9. Азнабаев, Б.М. Ультразвуковая витрэк-



- томия: исследование скорости удаления стекловидного тела в эксперименте и клинике / Б.М. Азнабаев, Т.И. Дибасев, Т.Р. Мухамадеев, А.С. Вафиев, И.Х. Шавалиев // Практическая медицина. – 2018. – № 6(4). – P. 56–62.
10. Zueva, M.V. Fundamental ophthalmology: the role of electrophysiological research / M.V. Zueva // Bulletin of ophthalmology. 2014. – № 6. – P. 28–29.
11. Hubschman, J.P. Effect of cutting phases on flow rate in 20-, 23- and 25-gauge vitreous cutters / J.P. Hubschman, J.L. Bourges, I. Tsui et al. // Retina. – 2009. – Vol. 29. – № 9. – P.1289-1293. DOI: 10.1097/IAE.0b013e3181acd3a9.
12. Thompson, D.A. ISCEV extended protocol for the dark-adapted red flash ERG / D.A. Thompson et al. // Doc. Ophthalmol. – 2018. – Vol. 136. – № 3. – P.191–197.
13. Hassankarimi, H. Analysis of pattern electroretinogram signals of early primary open-angle glaucoma in discrete wavelet transform coefficients domain / H. Hassankarimi, S.M.R. Noori, E. Jafarzadehpour, S. Yazdani et al. // Int. Ophthalmol. – 2019. – Vol. 39. – № 10. – P. 2373–2383.
14. Fukuo, M. Screening for diabetic retinopathy using new mydriasis-free, full-field flicker ERG recording device / M. Fukuo, M. Kondo, A. Hirose, H. Fukushima et al. // Sci. Rep. – 2016. – Vol. 6. – P. 36591.
15. Miyata, R. Supernormal flicker ergs in eyes with central retinal vein occlusion: clinical characteristics, prognosis, and effects of Anti-VEGF agent / R. Miyata, M. Kondo, K. Kato, M. Sugimoto et al. // Invest. Ophthalmol. Vis. Sci. – 2018. – Vol. 59, № 15. – P. 5854–5861.
16. Вафиев, А.С. Функциональное состояние сетчатки кроликов после воздействия низкочастотного ультразвука: анализ показателей электроретинограммы / А.С. Вафиев // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 1. С. 62–68. DOI: 10.22363/2313-0245-2022-26-1-62-68.
- REFERENCES**
1. Bringmann A, Unterlauff JD, Wiedemann R, Rehak M, Wiedemann P. Morphology of partial-thickness macular defects: presumed roles of Müller cells and tissue layer interfaces of low mechanical stability. *Int. J. Retina Vitreous*, 2020, № 6, p. 28, doi: 10.1186/s40942-020-00232-1.
2. Saxena S, Meyer CH, Ohji M, Akduman L. *Vitreoretinal surgery* / S. Saxena, C.H. Meyer, M. Ohji, L. Akduman. London: Jaypee Brothers Medical Publishers. 2012. – 442 p.
3. Pavlidis M. Two-Dimensional Cutting (TDC) Vitrectome: In vitro flow assessment and prospective clinical study evaluating core vitrectomy efficiency versus standard vitrectome. *Hindawi Journal of Ophthalmology*, 2016, p. 1–6, doi: 10.1155/2016/3849316.
4. Mohamed S. Claes C, Tsang C.W. Review of Small Gauge Vitrectomy: Progress and Innovations. *Hindawi Journal of Ophthalmology*, 2017, p. 1–9, doi: 10.1155/2017/6285869.
5. Pastor-Idoate S, Bonshek R, Irion L, Zambrano I, Carlin P, Mironov A. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system. Qualitative preliminary report. *PLOS one*, 2017, № 4, p. 1–16, doi: 10.1371/journal.pone.0173883.
6. Aznabaev BM, Dibaev TI, Mukhamadeev TR, Vafiev AS, Shavaliyev Ikh. Twenty-five gauge ultrasonic vitrectomy: experimental and clinical performance analysis. *Retina*, 2020, № 7, p. 1443–1450, doi: 10.1097/IAE.0000000000002863.
7. Stanga PE, Pastor-Idoate S, Zambrano I, Carlin P, McLeod D. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system. *Plos One*. 2017, № 12, p. 1–15, doi: 10.1371/journal.pone.0178462.
8. Wuchinich D. Ultrasonic vitrectomy instrument. *Physics Procedia*. 2015, № 63, p. 217–222, doi: 10.1016/j.phpro.2015.03.035.
9. Aznabaev BM, Dibaev TI, Mukhamadeev TR, Vafiev AS, Shavaliyev Ikh. Ultrasonic vitrectomy: performance evaluation in experimental and clinical conditions. *Practical Medicine*. 2018, № 6(4), P. 56–62.
10. Zueva MV. Fundamental ophthalmology: the role of electrophysiological research. *Bulletin of ophthalmology*. 2014, № 6, p. 28–29.