

3. Urbanska M., Mucoz H.E., Shaw Bagnall J. et al. 2020. A comparison of microfluidic methods for high-throughput cell deformability measurements. *Nat Methods* 17 587-593. <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0818-8> (in Engl.)
4. Tong Z., Balzer E. M., Dallas M. R., Hung W., Stebe K. J., Konstantopoulos K. 2012. Chemotaxis of Cell Populations through Confined Spaces at Single-Cell Resolution. *PLoS ONE* 7(1) e29211. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0029211> (in Engl.)
5. Rakhimov A. A., Akhmetov A. T., Valiev A. A., Danilko K. V., Sametov S. P., Khismatullin D. B. 2019. To the issue of the mechanism of cell migration. *Multiphase Systems* 14(1) 17-26. <https://doi.org/10.21662/mfs2019.1.003> 9 (in Russ.)
6. Akhmetov A. T., Sametov S. P., Rakhimov A. A., Latypova D. R., Khanova M. D., Dokichev V. A. 2013. Dynamic blocking phenomenon of water-in-oil emulsion solutions based on emulsifier-stabilizer for water-in-oil emulsions SET-1. *Petroleum engineering* 11(2) 64-70. (in Russ.)

УДК 617.735-007.281

© Коллектив авторов, 2022

А.С. Дзинтер^{1,2}, К.С. Мочалов¹, Т.И. Дибаяев^{1,2}, Т.Р. Мухамадеев^{1,2}
**ПОКАЗАТЕЛИ ХЕМИЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ СТЕКЛОВИДНОГО ТЕЛА
 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО
 И ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ГИЛЬОТИННОГО МЕТОДОВ ФРАГМЕНТАЦИИ**
¹ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
 Минздрава России, г. Уфа
²ЗАО «Оптимедсервис», г. Уфа

Цель. Изучить и сравнить параметры хемилюминесценции аспирата стекловидного тела при микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии 25G и пневматической гильотинной витрэктомии 25G.

Материал и методы. Исследование было выполнено методом хемилюминесценции в хемилюминометре «ХЛИМ-003» (Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия) с последующим анализом параметров хемилюминесценции – светосуммы (S) и максимальной амплитуды медленной вспышки (Imax) на интактном стекловидном теле и на аспиrate стекловидного тела 16 глаз кроликов породы шиншилла, оперированных методами микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии 25G (основная группа, n=8) и пневматической гильотинной витрэктомии 25G (контрольная группа, n=8).

Результаты. Добавление образцов аспирата в модельную систему увеличивало уровни светосуммы и максимальной светимости. Разница светосуммы с интактным стекловидным телом в основной группе составляла 16,7±6,2%, в контрольной группе – 14,2±9,3%. Выявленные в результате исследования тенденции к увеличению светосуммы и максимальной светимости были сопоставимы в обеих группах, p>0,05.

Выводы. Значимых различий параметров хемилюминесценции аспирата стекловидного тела при микроинвазивной ультразвуковой и пневматической гильотинной витрэктомии 25G не обнаружено.

Ключевые слова: хемилюминесценция, ультразвуковая витрэктомия, свободнорадикальное окисление.

A.S. Dzinter, K.S. Mochalov, T.I. Dibaev, T.R. Mukhamadeev
**PARAMETERS OF VITREOUS CHEMILUMINESCENCE UNDER THE INFLUENCE
 OF ULTRASONIC AND PNEUMATIC GUILLOTINE VITRECTOMY**

Purpose. To study and compare the chemiluminescence parameters of the vitreous body aspirate during microinvasive ultrasonic 25G vitrectomy and pneumatic guillotine 25G vitrectomy.

Material and methods. The study was performed by chemiluminescence in the chemiluminometer "KhLM-003" (Ufa State Aviation Technical University, Russia) with subsequent analysis of chemiluminescence parameters - light sum (S) and the maximum amplitude of the slow flash (Imax) on the intact vitreous body and on the vitreous aspirate of 16 Chinchilla rabbits eyes operated on by microinvasive ultrasonic 25G vitrectomy (main group, n=8) and pneumatic guillotine 25G vitrectomy (control group, n=8).

Results. The addition of aspirate samples to the model system increased the level of the light sum and the maximum luminosity. The difference in the light sum in case of the intact vitreous body in the main group was 16.7±6.2%, in the control group it was 14.2±9.3%. The tendencies towards an increase in the light sum and maximum luminosity revealed as a result of the study were comparable in the two groups, p>0,05.

Conclusion. There were no significant differences in parameters of vitreous aspirate chemiluminescence during microinvasive ultrasonic and pneumatic guillotine 25G vitrectomy.

Key words: chemiluminescence, ultrasonic vitrectomy, free radical oxidation.

На сегодняшний день высокоскоростная пневматическая витрэктомия является высокотехнологичным методом лечения большого спектра витреоретинальных заболеваний: патологии витреомакулярного интерфейса, ретинальных отслоек сетчатки и диабетической пролиферативной ретинопатии [1-3].

Важным стимулом для дальнейшего усовершенствования витрэктомии является поиск альтернативных способов разрушения стекловидного тела (СТ) для минимизации

травматического его воздействия на сетчатку. Первые клинические исследования в поиске немеханического способа удаления стекловидного тела из витреальной полости методом ультразвука были выполнены L.G. Girard, N. Leitgeb et al., Л.В. Коссовским и Г.Е. Столяренко в 1970-1980 гг. [4,5].

На данный момент существуют работы, посвященные безопасности использования высокочастотного ультразвука в полости стекловидного тела и вблизи сетчатки, про-

демонстрировавшие отсутствие ретинальных осложнений [6,7]. Однако в актуальных исследованиях групп ученых во главе с Prof. P. Stanga, D. Wuchinich, ультразвуковые витреотомы имеют ограниченный калибр 23G и 20G соответственно [8,9].

Сотрудниками кафедры офтальмологии с курсом ИДПО Башкирского государственного медицинского университета и отдела микрохирургического оборудования ЗАО «Оптимедсервис» на базе отечественной офтальмохирургической системы «Оптимед Профи» (РУ № ФСР 2011/11396 от 13.11.2013 г.) разработана система для ультразвуковой витрэктомии калибра 25G.

При пневматической (гильотинной) витрэктомии механизм удаления стекловидного тела подразумевает чередование циклов «аспирация-рез», которое может сопровождаться флюктуациями аспирационного потока и создавать предпосылки для ятрогенных повреждений сетчатой оболочки [10], а при ультразвуковой витрэктомии подобных флюктуаций не наблюдается. Под дозированным действием ультразвука стекловидное тело эмульсифицируется, то есть превращается в равномерно удаляемую эмульсию [11].

Одним из повреждающих действий ультразвуковой волны на внутриглазные структуры являются сбои в регуляции активных форм кислорода (АФК) [12], которые выступают в качестве регуляторов активности клеток, участников репаративных процессов, и медиаторов воспаления [13]. Однако их избыточное количество лежит в основе оксидативного стресса, являющегося универсальным звеном в развитии ряда патологических процессов [14]. Генерация активных форм кислорода связана с воспалительными, деструктивными и регуляторными процессами. Эта связь открывает возможность для исследования роли оксидативных процессов при негативных изменениях структур глаза, в том числе при воздействии ультразвуковой энергии, используемой при витрэктомии.

Учитывая вышесказанное, актуальным является изучение влияния микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии 25G на процессы свободнорадикального окисления в сравнении с пневматической гильотинной витрэктомией, выполненной методом регистрации хемилюминесценции (ХЛ).

Цель – изучить и сравнить параметры хемилюминесценции аспириата стекловидного тела при микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии и пневматической гильотинной витрэктомии 25G.

Материал и методы

Исследование было выполнено на аспириате стекловидного тела 16 глаз кроликов породы шиншилла, оперированных методами микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии 25G (основная группа, n=8) и пневматической гильотинной витрэктомии 25G (контрольная группа, n=8). Все операции с использованием животных выполняли в соответствии с Международными рекомендациями по проведению медико-биологических исследований.

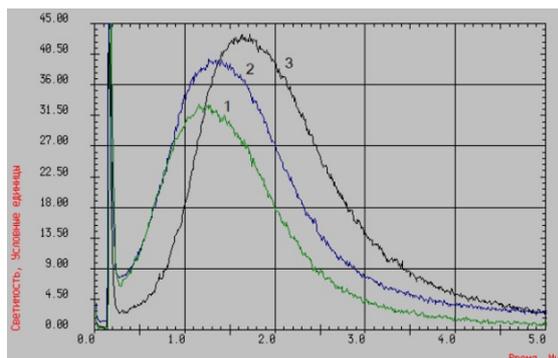


Рис. Запись ХЛ: 1 – интактное стекловидное тело; 2 – аспират стекловидного тела при пневматической гильотинной витрэктомии; 3 – аспират стекловидного тела при ультразвуковой витрэктомии

Исследование проводили методом регистрации хемилюминесценции в хемилюминомере «ХЛМ-003» (Уфимский государственный авиационный технический университет, Россия). Для модельной системы использовали фосфатный буфер, цитрат и люминол в объеме 20 мл. Состав буфера: 1 литр дистиллированной воды, 2,72 г KH_2PO_4 , 7,82 г KCl , 1,5 г цитрата натрия $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7\text{Na}_3 \cdot 5,5\text{H}_2\text{O}$. pH полученного раствора доводили до 7,45 ед. титрованием насыщенным раствором КОН с добавлением 0,2 мл маточного раствора люминола (10^{-5}M). При введении 1 мл 50 мМ раствора сернокислого железа инициировали образование свободных радикалов. Образцы аспириата стекловидного тела добавляли в кювету в количестве 0,5 мл. Запись регистрации ХЛ осуществляли в течение пяти минут. Анализировали параметры хемилюминесценции – светосумму, S (интегральная характеристика свечения) и максимальную амплитуду медленной вспышки, I_{max} , выраженные в условных единицах. Данные ХЛ после микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии и после пневматической гильотинной витрэктомии сравнивали с данными ХЛ интактного стекловидного тела (см. рисунок).

Для определения различий между группами, учитывая малый объем выборки, использовали непараметрический критерий Ман-

на–Уитни. Различия считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

Результаты и обсуждение

Исследование показало, что при добавлении образцов аспириата в модельную систему наблюдалась тенденция к увеличению светосуммы и максимальной светимости (табл. 1,2). Разница светосуммы с интактным стекловидным телом в основной группе составила $16,7 \pm 6,2\%$, в контрольной группе – $14,2 \pm 9,3\%$. Выявленная в результате исследования тенденция к увеличению светосуммы и максимальной светимости была сопоставима в двух основных группах, $p > 0,05$.

Таблица 1
Показатели хемиллюминесценции аспириатов СТ после микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии ($M \pm m$)

Интактное стекловидное тело		Основная группа (аспириат стекловидного тела после ультразвуковой витрэктомии)	
светосумма	максимальная светимость	светосумма	максимальная светимость
80,7±5,4	44,3±2,1	90,2±3,1	56,5±7,4

Известно, что развитие оксидативного стресса приводит к изменению активности ферментных систем, функциональное назначение которых заключается в регуляции и предотвращении избыточного образования свободных радикалов. Нарушение систем

окислительного метаболизма и образование АФК приводит к усилению ферментативных систем – проявлению антиокислительной активности. В настоящей работе изучена одна из характеристик свободнорадикальных процессов по параметрам хемиллюминесценции.

Таблица 2
Показатели хемиллюминесценции аспириатов СТ после пневматической гильотинной витрэктомии ($M \pm m$)

Интактное стекловидное тело		Контрольная группа (аспириат стекловидного тела после пневматической гильотинной витрэктомии)	
светосумма	максимальная светимость	светосумма	максимальная светимость
93,2±6,0	48,1±0,4	105,8±1,8	51,2±0,02

Таким образом, после проведенной микроинвазивной ультразвуковой и пневматической гильотинной витрэктомии увеличивались светосумма и максимальная светимость, что объясняется усилением генерации активных форм кислорода.

Выводы

Значимых различий параметров хемиллюминесценции аспириата стекловидного тела при микроинвазивной ультразвуковой витрэктомии и пневматической гильотинной витрэктомии 25G в эксперименте на глазах лабораторных животных не обнаружено.

Сведения об авторах статьи:

Дзинтер Анастасия Сергеевна – аспирант кафедры офтальмологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, 8. E-mail: ana_shats@mail.ru. ORCID: 0000-0002-507-3821.

Мочалов Константин Сергеевич – к.б.н., заведующий ЦНИЛ ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, доцент кафедры фундаментальной и прикладной микробиологии ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России. Адрес: 450000, г. Уфа, ул. Ленина 3. Тел. (347) 273-61-45. E-mail: kostja.mochalov@gmail.com. ORCID: 0000-0002-8010-3338.

Дибав Тагир Ильдарович – к.м.н., доцент кафедры офтальмологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, заведующий отделом координации научных исследований ЗАО «Оптимедсервис». Адрес: 450059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, 8. E-mail: dibaev@yandex.ru. ORCID: 0000-0002-7448-6037.

Мухаммадеев Тимур Рафаэльевич – д.м.н., заведующий кафедрой офтальмологии с курсом ИДПО ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, заместитель генерального директора ЗАО «Оптимедсервис». Адрес: 450059, г. Уфа, ул. 50 лет СССР, 8. E-mail: photobgmu@gmail.com. ORCID: 0000-0003-3078-2464.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нероев, В.В. Инвалидность по зрению в Российской Федерации: докл. на офтальмологическом конгрессе «Белые ночи – 2017». – СПб., 2017.
2. Столяренко Г.Е. Особенности витреомакулярного интерфейса при эпиретинальном фиброзе / Г.Е. Столяренко, А.А. Колчин, Л.В. Диденко // X Съезд офтальмологов России: тез. докл. – Москва, 2015. – С. 162.
3. Стебнев В.С. Микроинвазивная хромовитрэктомия в лечении больных с витреомакулярной адгезией: дис. ... д-ра мед. наук. – Самара, 2016. – 309 с.
4. Коссовский, Л.В. Применение отечественного ультразвукового факофрагментатора в глазной хирургии / Л.В. Коссовский, Г.Е. Столяренко, И.Л. Коссовская // Вестник офтальмологии. – 1983. – № 3. – С. 29-33.
5. Girard, L.G. Ultrasonic fragmentation for vitrectomy and associated surgical procedures / L.G. Girard, R. Niewes, R.S. Hawkins // Trans. Sect. Ophthalmol. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol. – 1976. – 81. – P. 432-450.
6. 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.
7. 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.
8. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system / Stanga P.E. [et al.] // Plos One. – 2017. – № 6. – P. 2-3.
9. Wuchinich, D. Ultrasonic vitrectomy instrument / D. Wuchinich // Physics Procedia. – 2015. – Vol. 63. – P. 217-222.
10. Charles, S. Vitreous Microsurgery / S. Charles, J. Calzada, B. Wood // Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 2011. – P. 259.
11. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system / S. Pastor-Idoate [et al.] // Qualitative preliminary assessment / PLoS One. – 2017. – Vol. 12. – P. 4.
12. Milowska, K. Reactive oxygen species and DNA damage after ultrasound exposure. / K. Milowska, T. Gabryelak // Biomolecular Engineering. – 2007. 24(2). – P. 263-267.
13. Turrens, J.F. Formation of reactive oxygen species / J.F. Turrens // Journal of Physiology. – 2003. – Vol. 552. – P. 335-44.
14. Liochev, S.I. Reactive oxygen species and the free radical theory of aging // S.I. Liochev // Free Radic Biol Med. – 2013. – Vol. 60. – P. 1-4.

REFERENCES

1. Neroev, V.V. Invalidnost' po zreniyu v Rossijskoj Federacii. Dokl. na oftal'mologicheskom kongresse «Belye nochi – 2017». – Sankt-Peterburg, 2017. (In Russ)
2. Stolyarenko G.E. Osobennosti vitreomakulyarnogo interfejsa pri epiretinal'nom fibroze / G.E. Stolyarenko, A.A. Kolchin, L.V. Didenko // X S'ezd oftal'mologov Rossii. Tez. dokl. 2015. – S. 162. (In Russ)
3. Stebnev V.S. Mikroinvazivnaya hromovitrektomiya v lechenii bol'nyh s vitreomakulyarnoj adgeziy: dis. ... d-ra med. nauk. – Samara, 2016. – 309 s. (In Russ)
4. Kosovsky, L.V. The use of domestic ultrasonic phacofragmentator in eye surgery (message 2) / L.V.Kosovsky, G.E. Stolyarenko, I.L. Kossovskaya // Vestnik oftalmologii. – 1983. – No. 3. – S. 29-33.
5. Girard, L.G. Ultrasonic fragmentation for vitrectomy and associated surgical procedures / L.G. Girard, R. Niewes, R.S. Hawkins // Trans. Sect. Ophthalmol. Am. Acad. Ophthalmol. Otolaryngol. – 1976. – 81. – P. 432-450.
6. 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.
7. 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.
8. Performance analysis of a new hypersonic vitrector system / Stanga P.E. [et al.] // Plos One. – 2017. – № 6. – P. 2-3.
9. Wuchinich, D. Ultrasonic vitrectomy instrument / D. Wuchinich // Physics Procedia. – 2015. – Vol. 63 – P. 217-222.
10. Charles, S. Vitreous Microsurgery / S. Charles, J. Calzada, B. Wood // Lippincott Williams & Wilkins, a Wolters Kluwer business, 2011. – P. 259.
11. Ultrastructural and histopathologic findings after pars plana vitrectomy with a new hypersonic vitrector system / S. Pastor-Idoate [et al.] // Qualitative preliminary assessment / PLoS One. – 2017. – Vol. 12. – P. 4.
12. Milowska, K. Reactive oxygen species and DNA damage after ultrasound exposure. / K. Milowska, T. Gabryelak // Biomolecular Engineering. – 2007. 24(2). – P. 263-267.
13. Turrens, J.F. Formation of reactive oxygen species / J.F. Turrens // Journal of Physiology. – 2003. – Vol. 552. – P. 335-44.
14. Liochev, S.I. Reactive oxygen species and the free radical theory of aging // S.I. Liochev // Free Radic Biol Med. – 2013. – Vol. 60. – P. 1-4.

УДК 611.61.018 : 549.28] – 092.9

© Коллектив авторов, 2022

П.А. Елясин, С.В. Залавина, А.Н. Машак,
Р.Б. Галенок, Г.В. Правоторов, С.В. Айдагулова
**МОРФОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА КОРКОВОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧЕК
КРЫС ПРЕПУБЕРТАТНОГО ВОЗРАСТА**
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Новосибирск

Цель – морфометрическое исследование эффектов тяжелых металлов Cd и Pb на корковое вещество почек крыс Вистар препубертатного возраста.

Материал и методы. В течение 3 нед крысята-самцы Вистар (adolescents, в возрасте 4 нед) per os получали раствор сульфата Cd в дозе 0,5 мг/кг (2-я группа), раствор ацетата Pb в дозе 10 мг/кг (3-я группа) или их сочетание (4-я группа). Контрольная группа животных (1-я) получала физраствор. Морфометрическое исследование почечных телец, проксимальных и дистальных канальцев на полутонких срезах коркового вещества почки.

Результаты и обсуждение. В условиях хронического воздействия субтоксичных доз Cd и/или Pb относительно контрольной группы выявлены статистически значимые гистологические изменения: увеличение площади свободных пространств Боумена и общей площади почечного тельца; снижение высоты эпителиоцитов проксимальных и в меньшей степени дистальных извитых канальцев с увеличением диаметра и площади просвета. Из моно воздействий наибольшие гистологические изменения индуцировал Pb.

Заключение. С помощью морфометрии выявлены предпосылки для развития структурно-функциональных нарушений почек: атрофия эпителия проксимальных канальцев и застойные изменения почечных телец.

Ключевые слова: крысы-adolescents, тяжелые металлы Cd и Pb, субтоксичные дозы, корковое вещество почки, морфометрия.

P.A. Elyasin, S.V. Zalavina, A.N. Mashak,
R.B. Galenok, G.V. Pravotorov, S.V. Aidagulova
**MORPHOMETRIC STUDY OF THE HEAVY METALS' EFFECTS
ON THE RENAL CORTEX OF PREPUBERTAL RATS**

Purpose – morphometric study of the effects of Cd and Pb heavy metals on the renal cortex of Wistar rats of prepubertal age.

Material and methods. During 3 weeks male Wistar rats (adolescents, aged 4 weeks) per os received Cd sulfate solution at a dose of 0.5 mg/kg (group 2), Pb acetate solution at a dose of 10 mg/kg (group 3), or their combination (group 4). The control group (group 1) received saline. Morphometric study of renal corpuscles, proximal and distal tubules on semi-thin sections of the renal cortex was performed.

Results and discussion. Under conditions of chronic exposure to subtoxic doses of Cd and/or Pb, statistically significant histological changes were revealed comparing to the control group: an increase in the area of the free Bowman's spaces and the total area of the renal corpuscle; decrease in the height of epithelial cells of the proximal and, to a lesser extent, distal tubules, with an increase in the diameter and area of the tubular lumen. The most prominent histological changes were induced by Pb used singly.

Conclusions. Using morphometry, the prerequisites for the development of structural and functional disorders of the kidneys were revealed, such as atrophy of the epithelium of the proximal tubules and congestive changes in the renal corpuscles.

Key words: adolescent rats, Cd and Pb heavy metals, subtoxic doses, renal cortex, morphometry.